

## **DAMPAK RESIDU INSEKTISIDA TERHADAP KEANEKARAGAMAN JAMUR TANAH PADA LAHAN SAYURAN SAWI**

### ***Impact Insecticides of Residues on the Diversity of Soil Fungi on Mustard Greens Land***

**Martha Maria Magdalena Benu<sup>1)</sup>, Anthonius Stefanus Julian Adu Tae<sup>2)</sup> dan Lince Mukkun<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> Jurusan Manajemen Pertanian Lahan Kering, Politeknik Pertanian Negeri Kupang, Jln. Prof. Dr. Herman Yohanis Lasiana, Kota Kupang 85011

<sup>2)</sup> Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian Universitas Nusa Cendana, Jln. Adisucipto Penfui, Kota Kupang 85011

#### **ABSTRACT**

*Insecticides have a negative effect on soil fungi because they contain dangerous toxic compounds. The use of insecticides by Noelbaki village farmers in vegetable cultivation is quite intensive with, a frequency of 2-3 spraying per week. The application of this insecticide is carried out continuously during the planting of vegetables so that it has a negative impact on the soil environment. This study aimed to determine the content of insecticide residues and the diversity of soil fungi in mustard vegetable fields. The research method used was a survey method conducted on several mustard vegetable farmers by collecting information using a questionnaire as a means of collection data and laboratory tests of residue content in the soil. Soil samples were taken using a diagonal pattern with 5 replications on mustard greens on Vertisols and Inceptisols both applied and without insecticides. Soil samples in a composite soil were carried out for the analysis of residual content and physical and chemical properties of the soil, while not composist was used for the observation of soil fungi. The variables observed were the content of insecticide residues, population density, diversity and frequency of presence, soil fungi and the physical and chemical properties of soil on the vegetable land. Analysis of insecticide residues was carried out using the Gas Chromatography-Spectrometry Mass (GC-MS/MS) method, and the counting of microbes was carried out using the Plate Counting Agar (PCA) method, while the identification of microbes was carried out by microscopic and macroscopic observations. Insecticide residues with the active ingredient Lamda-cihalotrin in the Vertisol type soil samples treated with insecticides were 0.060 ppm, and in the Inceptisol soil samples with the active ingredient Dimetoat as much as 0.042 ppm. The density of soil mushroom population was higher in vegetable fields without the application of Insecticides as much as 71.6 CFU g<sup>-1</sup>, the value of soil mushroom diversity index was higher in insecticide application vegetable fields 1.609, the frequency of presence of the fungus species *Penicillium constant* 100% and *Mucor* 90%.*

*Keywords: Diversity, frequency of attendance, fungi, population, residues.*

#### **ABSTRAK**

Insektisida memiliki efek negatif pada jamur tanah sebab mengandung senyawa beracun yang berbahaya. Penggunaan insektisida oleh petani desa Noelbaki dalam budidaya sayuran cukup intensif dengan frekuensi penyemprotan 2-3 kali perminggu. Aplikasi insektisida ini dilakukan secara terus-menerus selama tanam sayuran, sehingga memberikan dampak negatif terhadap lingkungan tanah. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui efek residu insektisida terhadap keanekaragaman jamur tanah pada lahan sayuran sawi. Metode penelitian yang digunakan adalah metode survey yang dilakukan terhadap beberapa petani sayuran sawi dengan mengumpulkan informasi menggunakan kuesioner sebagai alat pengumpul data dan uji laboratorium kandungan residu pada tanah. Pengambilan sampel tanah menggunakan pola diagonal dengan 5 ulangan pada lahan sayuran sawi pada jenis tanah Vertisol dan Inceptisol baik yang diaplikasi maupun tanpa insektisida. Pengambilan sampel tanah secara komposit dilakukan untuk analisis kandungan residu dan sifat fisika kimia tanah sedangkan bukan komposit untuk pengamatan jamur tanah. Variabel yang diamati adalah kandungan residu insektisida, kepadatan populasi, keanekaragaman dan frekuensi kehadiran jamur tanah serta sifat fisika kimia tanah pada lahan sayuran tersebut. Analisis residu insektisida dilakukan dengan metode *Gas Chromatography-Spectrometry Mass (GC-MS/MS)*, dan perhitungan jumlah mikroba dilakukan dengan metode *Plate Counting Agar (PCA)*, sedangkan identifikasi mikroba dilakukan dengan pengamatan secara mikroskopis dan makroskopis. Residu insektisida berbahan aktif Lamda-cihalotrin pada contoh tanah jenis Vertisol yang diberi insektisida sebesar 0.060 ppm, dan pada contoh tanah Inceptisol dengan berbahan aktif Dimetoat sebanyak 0.042 ppm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kepadatan populasi jamur tanah lebih tinggi pada lahan sayuran tanpa aplikasi insektisida sebanyak 71.6 cfu g<sup>-1</sup>, nilai indeks keanekaragaman jamur tanah lebih tinggi pada lahan sayuran aplikasi insektisida 1.609, frekuensi kehadiran spesies jamur *Penicillium konstansi* 100% dan *Mucor* 90%.

Kata kunci : Keanekaragaman, frekuensi kehadiran, jamur, populasi, residu

## PENDAHULUAN

Seiring dengan meningkatnya taraf kehidupan manusia, semakin banyak kebutuhan pangan antara lain sayuran dan untuk memenuhi kebutuhan tersebut diperlukan zat kimia sintetik agar produksi yang tinggi dapat diperoleh. Meskipun banyak manfaat yang diperoleh dari zat kimia, dijumpai pula dampak negatifnya. Bila zat kimia masuk ke lingkungan dan berada pada tingkat ambang batas maka akan bersifat sebagai zat pencemar dan mengganggu keseimbangan alam (Rahayuningsih, 2009). Selain itu juga berdampak negative terhadap kesehatan manusia yang menyebabkan keracunan akut apabila mengkonsumsi produk pertanian yang mengandung residu dalam jumlah besar (Djojsumarto, 2008).

Tanah merupakan suatu ekosistem yang mengandung berbagai jenis biota (organisme) dengan morfologi dan sifat fisiologi yang berbeda-beda. Ada yang hanya terdiri atas beberapa individu, ada pula yang jumlahnya mencapai jutaan per gram tanah. Banyaknya biota berpengaruh terhadap sifat kimia dan fisik tanah serta pertumbuhan tanaman (Saraswati *et al.*, 2007). Aktivitas mikroba tanah yang terganggu akibat penggunaan pestisida mempengaruhi kualitas gizi tanah dan memberikan gangguan ekologis yang serius. Rendahnya mikroba tanah juga dapat mengurangi kontribusi mikroba terhadap kesuburan tanah. Mikroba terlibat dalam proses mendasar seperti pembentukan tanah dan siklus hara serta memiliki hubungan penting antara ketersediaan hara tanah dan produktivitas tanaman. Mikroba tanah terlibat langsung dalam siklus nutrisi melalui transformasi bentuk organik dan anorganik (Ellouze *et al.*, 2014).

Salah satu mikroba yang berperan di dalam kesuburan tanah yaitu jamur. Jamur termasuk salah satu mikroba tanah yang terlibat dalam dekomposisi bahan organik dan pengikat/penyedia unsur hara. Jamur ditemukan dalam tanah dan aktif pada tahap pertama proses dekomposisi bahan organik yang berperan penting dalam agregasi tanah dan patogen, membebaskan hara hingga tersedia bagi tanaman dan menghancurkan bahan toksik, membentuk asosiasi simbiotik dengan akar tanaman, sebagai patogen antagonis, mempengaruhi pelapukan dan kelarutan mineral dan menyumbang struktur dan agregat tanah (Hanafiah, 2014; Yulipriyanto, 2010). Jamur juga merupakan mikroba tanah yang berfungsi sebagai perombak, pengurai bahan pencemar tanah dan berperan penting dalam siklus unsur hara C, N, P dan S, dinamika air, siklus unsur hara, pengendali penyakit, mengikat partikel tanah dan berperan penting sebagai mikroba perombak di dalam rantai makan (*foot web*) tanah.

Di dalam ekosistem, mikroorganisme perombak bahan organik memegang peranan penting karena sisa organik yang telah mati diurai menjadi unsur-unsur yang dikembalikan ke dalam tanah dalam bentuk hara mineral N, P, K, Ca, Mg, dan atau dalam bentuk gas yang dilepas ke atmosfer berupa CH<sub>4</sub> atau CO<sub>2</sub>. Dengan demikian terjadi

siklus hara yang berjalan secara alamiah, dan proses kehidupan di muka bumi dapat berlangsung secara berkelanjutan (Handayanto dan Hairiah, 2009; Subandi, 2010). Pada ekosistem lahan kering, peran *mikoriza* mampu meningkatkan hasil berbagai tanaman hingga 100% (Subandi, 2010).

Hasil penelitian Nasution *et al.* (2014) menunjukkan bahwa penggunaan jamur *mikoriza* di tanah alkalin dengan dosis 10 g memberikan tinggi tanaman, berat kering tajuk, serapan P, serta bobot 100 biji tertinggi pada tanaman jagung. Selanjutnya hasil penelitian Suandi *et al.*, (2015) menunjukkan bahwa pemberian inokulum jamur *Penicillium* mampu meningkatkan P-total tanah, P-tersedia tanah serta berat kering tajuk tanaman kentang.

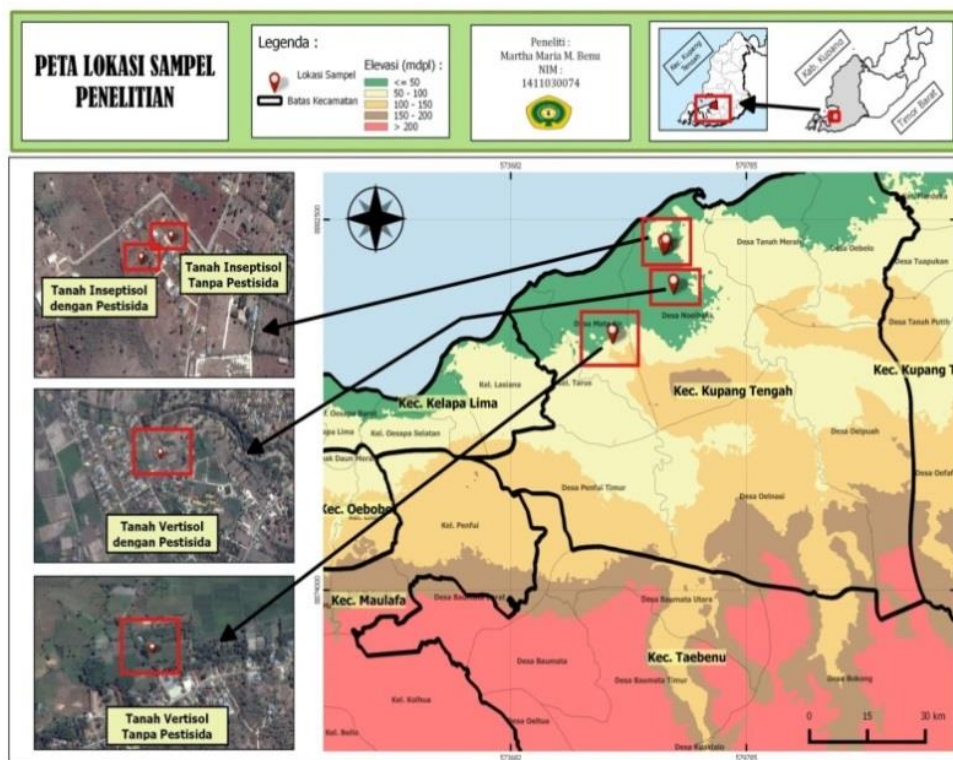
Hasil penelitian Srinivasulu dan Ortiz (2017) menunjukkan bahwa hasil uji coba dua insektisida *cypermetrin* dan *clorpirifos* pada dua tanah olahan tomat dengan peningkatan dosis pestisida 7.5-10 kg ha<sup>-1</sup> setelah 30 dan 40 hari inkubasi menurunkan populasi jamur secara cepat.

Hasil penelitian Nahas (2013) di Kelurahan Tarus dan Kelurahan Mata air Kecamatan Kupang Tengah, Kabupaten Kupang menunjukkan bahwa aplikasi pestisida yang dilakukan petani sayuran tidak mengikuti dosis anjuran aplikasi pestisida yaitu 2 kali setiap minggu hingga panen. Selanjutnya Mukkun dan Pakan (2008) dalam Nahas (2013) mengatakan bahwa aplikasi pestisida pada budidaya berbagai sayuran di Kelurahan Tarus dan Noelbaki sangat intensif, yaitu 2 sampai 4 kali perminggu hingga panen. Dosis pestisida yang digunakan tidak mengikuti anjuran yang tertera pada label.

Penggunaan pestisida secara intensif diduga akan mempengaruhi pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme tanah tersebut. Populasi mikroorganisme dalam tanah yang berkurang akan sangat berpengaruh terhadap tingkat kesuburan tanah. Proses ini akan terus berlanjut sehingga bila tidak dicegah akan sampai pada suatu kondisi krisis lingkungan yang tidak lagi mampu untuk mendukung kehidupan mikroorganisme dalam pembentukan suatu ekosistem. Oleh karena itu penelitian ini sangat penting untuk dilakukan mengingat fungsi kawasan sayuran di Desa Noelbaki dalam mengaplikasikan insektisida telah melakukan penyimpanan dalam hal penentuan dosis aplikasi insektisida dan tidak mengikuti dosis anjuran yaitu 2 sampai 3 kali setiap minggu hingga panen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dampak residu insektisida pada lahan sayuran sawi.

## BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Oktober 2016-April 2017 di Desa Tarus dan Noelbaki Kecamatan Kupang Tengah, Kabupaten Kupang. Jenis tanah dilokasi penelitian adalah Vertisol dan Inceptisol dengan ketinggian 5-14 meter diatas permukaan laut dan suhu rata-rata 35°C. Lokasi penelitian tersaji pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta lokasi sampel penelitian

Jenis insektisida yang digunakan oleh petani dalam budidaya sayuran sawi disajikan pada Tabel 1. Metode penelitian dibagi atas 3 tahap yaitu :

**Tahap Persiapan**

Pengambilan sampel tanah pada lahan sayuran sawi yang secara intensif menggunakan insektisida dan tanpa pestisida pada 2 (dua) jenis tanah yaitu Vertisol dan Inceptisol dengan kedalaman 0-20 cm menggunakan pola diagonal. Luasan areal pengambilan sampel tanah pada lahan sayuran sawi adalah 10% dari total luasan areal pertanaman. Luas lahan sayuran sawi yang secara intensif menggunakan insektisida pada jenis tanah Vertisol 5000 m<sup>2</sup> dan jenis Inceptisol 2500 m<sup>2</sup>, tanpa insektisida pada jenis tanah vertisol 400 m<sup>2</sup> dan Inceptisol 300 m<sup>2</sup>. Pengambilan sampel tanah untuk analisis kandungan residu insektisida dan sifat fisik kimia tanah masing-masing pada 5 titik, dikompositkan 1 (satu) sampel sebanyak 1 kg diisi dalam kantong plastik dan diberi label sesuai jenis tanah yang diambil. Pengambilan sampel tanah bukan komposit untuk

analisis jamur masing-masing 1 (satu) sampel dengan 5 (lima) ulangan sebanyak 0.5 kg diisi dalam kantong plastik dan diberi label. Sampel tanah diambil dari dua jenis tanah yaitu Vertisol dan Inceptisol pada lahan yang ditanami sayuran sawi. Data selanjutnya dianalisis secara statistik menggunakan Analisis of Varians (ANOVA) *Single Factor* dan uji lanjut dengan uji Beda Nyata Terkecil (BNT).

Isolasi jamur tanah dan identifikasi dilakukan di laboratorium Hama Penyakit Tumbuhan dan analisis sifat fisik kimia tanah di laboratorium Tanah Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian Universitas Nusa Cendana Kupang.

Sebelum pelaksanaan isolasi, semua peralatan dan bahan yang akan digunakan seperti cawan petri, tabung reaksi dan erlenmeyer di sterilisasi dengan uap air panas bertekanan menggunakan autoclave dengan suhu 121 °C selama 15-30 menit serta sterilisasi ruang kerja, meja/laminar, peralatan dan bahan-bahan yang diperlukan dengan alkohol 70% hingga merata.

Tabel 1. Nama dagang dan bahan aktif insektisida

Nama Dagang	Bahan Aktif	Jenis Insektisida	Golongan Insektisida	Waktu paruh dalam tanah
Alika 20 EC	Lamda-cihalothrin 106 g l <sup>-1</sup>	Insektisida	Piredroit	4-12 minggu
Pounce 20 EC	Permetrin 20.04 g l <sup>-1</sup>	Insektisida	Piredroit	1-5 minggu
Toxafine 400 EC	Dimetoat 400 g l <sup>-1</sup>	Insektisida	Organofosfat	7-16 hari
Curacron 500 EC	Profenofos 500 g l <sup>-1</sup>	Insektisida	Organofosfat	1 minggu
Marshal 20 EC	Karbosulfan 200,11 g l <sup>-1</sup>	Insektisida	Karbamat	-
Finsol 500 EC	Profenofos 500 g l <sup>-1</sup>	Insektisida	Organofosfat	
Santador 500 EC	Lamda-cihalothrin 106 g l <sup>-1</sup>	Insektisida	Piredroit	

Djojosumarto (2008)

## Tahap Pelaksanaan

Menimbang 39 g media PDA (*Potato Dextrose Agar*), masukkan ke dalam erlenmeyer 1000 ml, menambahkan 1 liter air diaduk hingga larut kemudian steril di dalam autoclave.

Membuat suspensi tanah dalam suatu seri pengenceran larutan stok (10 g tanah di larutkan dalam 90 ml larutan fisiologis/NaCl (0.85%), kemudian dikocok selama 2 menit, dibuat seri pengenceran dengan cara memipet larutan sebanyak 1 ml larutan tanah dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang berisi 9 ml larutan NaCl steril, kocok hingga larut, kemudian ambil 1 ml dari  $10^{-1}$  masukkan ke dalam tabung  $10^{-2}$ , Seterusnya di encerkan menjadi  $10^{-3}$  sampai  $10^{-5}$ .

Penyebaran (*planting*) mikroba memipet 0.1 ml larutan tanah pada pengenceran serial  $10^{-4}$  dan teteskan di bagian tengah cawan petri pada permukaan agar. Setiap pengenceran diulang dua kali (duplo). Selanjutnya sebar dengan batang penyebar steril (celupkan batang penyebar dalam etanol dan bakar, setelah diperkirakan dingin baru digunakan) pada media padat non selektif dan ditumbuhkan pada *Patato Dextrosa Agar* (PDA). Beri label di bagian pinggir tiap cawan petri (gunakan kode singkatan pengenceran). Inkubasi cawan Petri pada posisi terbalik selama 24 jam sampai 48 jam pada suhu ruangan (26-27 °C). Setelah di inkubasi, jumlah masing-masing cawan di amati. Untuk memenuhi perhitungan statistik cawan yang dipilih untuk penghitungan koloni adalah yang mengandung antara 10 sampai 100 koloni.

## Tahap Analisis

### Kepadatan Populasi Jamur Tanah

Perhitungan kepadatan populasi  
Total Populasi (CFU)  $g^{-1}$  tanah kering = (Jumlah koloni) x (fp)

### Indeks Keanekaragaman Jamur Tanah

Indeks keanekaragaman spesies menggunakan rumus dari indeks diversitas menurut Shanon-Wiener (Odum, 1998), yaitu:

$$H' = - \sum \left[ \left( \frac{n_i}{N} \right) \times \ln \left( \frac{n_i}{N} \right) \right]$$

### Sifat Fisik dan Kimia Tanah

pH tanah, kelembaban tanah, C-organik, unsur hara makro (N-total tanah, P-tersedia, K-total, tekstur tanah).

### Kandungan Residu Insektisida dalam Tanah

Analisis residu pestisida dilakukan di PT Angler BioChemlab. Analisis residu pestisida menggunakan metode GC-MS/MS Prosedur QuEChERS menurut metode Internasional (AOAC, 2007).

Variabel yang diamati dalam penelitian ini dibagi atas (i) variabel utama (kepadatan populasi jamur tanah, indeks keanekaragaman jamur tanah, frekuensi kehadiran jamur tanah dan kandungan residu insektisida dalam tanah) dan (ii) variabel penunjang (pH tanah, kelembaban tanah, C-organik, unsur hara makro (N-total tanah, P-tersedia, K-total, tekstur tanah).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kandungan Residu Insektisida pada Lahan Sayuran Sawi

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada lokasi penelitian dijumpai insektisida yang diketahui dari adanya residu insektisida pada sampel tanah dari jenis tanah Vertisol dan Inceptisol. Pada sampel tanah jenis tanah Vertisol terdeteksi residu beracun aktif Lamda-cihalotrin jenis alika dari golongan organofosfat dengan konsentrasi 0.060 ppm dan sampel tanah jenis tanah Inceptisol terdeteksi residu beracun aktif Dimethoat jenis toxafin dari golongan Piretroid dengan konsentrasi 0.042 ppm. Adanya residu insektisida pada sampel tanah mengindikasikan bahwa pemakaian insektisida pada budidaya sayuran sawi pada tingkat petani cukup intensif walaupun residu insektisida yang terdeteksi di dalam tanah kadar residunya lebih rendah daripada kadar batas maksimum residu (BMR = 0.1 ppm menurut SNI 7313 tahun 2008 (Jatmiko *et al.*, 2010)). Tidak terdeteksinya residu insektisida pada bahan aktif yang lain bukan berarti tidak ada residu, hal ini dapat diartikan bahwa kandungan residu yang ada sangat sedikit atau berada dibawah batas maksimum residu dan tidak terdeteksi. Namun dengan penggunaan insektisida yang cukup intensif dalam mengurangi serangan hama dan penyakit tanaman pada budidaya sayuran sawi dalam jangka waktu yang panjang akan meningkatkan penimbunan kadar residu insektisida di dalam tanah yang dapat mencemari lingkungan tanah.

Konsentrasi bahan aktif yang ada dalam tanah tergantung pada tipe dan taraf penggunaan, pada kelembaban dan tipe tanah (tekstur, tipe mineral liat, pH, kandungan bahan organik, porositas) serta sifat fisika-kimiawinya (daya larut, daya serap terhadap koloid tanah kation atau anion, distribusi dan aliran udara di dalam dan keluar tanah) (Suherly, 1988). Tingkat residu insektisida di lingkungan dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti suhu lingkungan, kelarutannya dalam air, serta penyerapan oleh koloid dan bahan organik tanah. Insektisida yang tidak persisten bisa diuraikan di alam menjadi senyawa yang tidak berbahaya. Penguraian bisa berlangsung secara kimia (fotolisis atau hidrolisis) atau secara biologis oleh mikroorganisme (Djojsumarto, 2008).

Insektisida dari golongan organofosfat umumnya sangat beracun, bekerja sebagai racun perut, racun kontak, dan beberapa di antaranya racun inhalasi dan racun syaraf yang bekerja dengan cara menghambat kolin esterase (ChE) yang mengakibatkan serangga sasaran mengalami kelumpuhan dan akhirnya mati. Insektisida organofosfat umumnya cepat didekomposisi di lingkungan dan tidak bersifat bioakumulatif. Kebanyakan insektisida organofosfat merupakan insektisida non sistemik, meskipun beberapa di antaranya memiliki sifat sistemik (Djojsumarto, 2008). Menurut Sembel (2015) insektisida dari golongan organofosfat dan jenis-jenis piretroid biasanya digolongkan pada jenis-jenis yang dapat diuraikan secara hayati namun penguraiannya membutuhkan waktu tergantung bahan organik tersebut serta kondisi lingkungan.

Insektisida golongan piretroid merupakan insektisida sintetik yang tiruan dan efikasi biologisnya bervariasi tergantung pada bahan aktif masing-masing. Banyak piretroid memiliki racun kontak yang sangat kuat,

umumnya memiliki spektrum yang luas dan efektif terhadap banyak spesies hama. Semua piretroid merupakan racun yang mempengaruhi saraf serangga (racun saraf) dengan berbagai macam cara kerja pada saraf sentral. Piretroid pada umumnya memiliki spektrum pengendalian yang sangat luas dan efektif terhadap banyak spesies serangga hama kecuali tungau (Djojsumarto, 2008). Wijaya (2014) mengatakan bahwa pestisida merupakan salah satu jenis bahan yang bersifat beracun atau berbahaya dan dikenal sebagai bahan berbahaya dan beracun (Limbah B3) karena mengandung bahan berbahaya dan sifat dan konsentrasinya, baik langsung maupun tidak langsung dapat merusak/mencerminkan lingkungan. Pestisida yang digunakan bukan saja mematikan hama tanaman tetapi juga organisme yang berguna di dalam tanah.

Insektisida mempunyai daya bunuh yang tinggi apabila aplikasinya kurang bijaksana dapat membawa dampak lingkungan yang sangat berbahaya (Wudianto, 2010). Bagi lingkungan umumnya terjadi pencemaran (perairan, tanah dan udara), terbunuhnya organisme non target karena pestisida memasuki rantai makanan, bioakumulasi/biomagnifikasi, penyederhanaan rantai makanan dan penyederhanaan keanekaragaman hayati (Djojsumarto, 2008).

Bahan aktif makin banyak digunakan dalam pengendalian organisme pengganggu tanaman (OPT) akan mengakibatkan banyak dari bahan aktif ini mencapai tanah dan tetap tinggal dalam jangka waktu lama yang dapat membahayakan komunitas biota tanah. Insektisida yang tidak dapat diuraikan oleh biota tanah bila penggunaannya secara terus menerus residunya akan terakumulasi dan dapat mencemari lingkungan tanah (Djojsumarto, 2008).

Hasil penelitian Hill dan Inaba (1991) dalam Narwanti *et al.* (2013) mengatakan bahwa disipasi Lamda-sihalotrin di tanah tergantung pada intensitas cahaya matahari dan kelembaban tanah. Waktu paruh Lamda-sihalotrin di tanah adalah 28-84 hari. Lamda-sihalotrin mempunyai afinitas yang tinggi terhadap partikel tanah dan solubilitas di air yang rendah, hal ini menyebabkan senyawa tersebut terikat kuat di tanah. Selanjutnya hasil penelitian Narwanti *et al.* (2013) menunjukkan bahwa kadar residu pestisida pada sampel bawang merah untuk lamda-sipermetrin (98.8-245.6 ppm) dan lamda-sihalotrin (14.4-120.0 ppm) yang melebihi batas maksimum residu yang sangat berbahaya bagi kesehatan manusia karena bersifat toksik dan karsinogenik.

### Kepadatan Populasi Jamur Tanah

Kepadatan populasi jamur tanah pada sampel tanah pada lahan sayuran sawi yang diaplikasi insektisida dan tanpa insektisida pada jenis tanah Vertisol dan Inceptisol disajikan pada Tabel 2.

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa terdapat perbedaan sangat signifikan antara kepadatan populasi spora jamur tanah. Kepadatan populasi spora jamur tanah pada lahan sayuran sawi yang diaplikasi insektisida pada jenis tanah Vertisol (NV-1) 71 cfu g<sup>-1</sup> tanah memiliki rata-rata kepadatan populasi tertinggi dan berbeda nyata dibandingkan dengan tanpa insektisida (NV-2) 16.60 cfu g<sup>-1</sup> tanah sedangkan kepadatan populasi spora jamur pada lahan sayuran sawi tanpa aplikasi insektisida pada jenis tanah Inceptisol (NI-2) 29.20 cfu g<sup>-1</sup> tanah memiliki rata-

rata populasi tertinggi dan berbeda nyata dibandingkan pada lahan sayuran yang diaplikasi insektisida (NI-1) 21.60 cfu g<sup>-1</sup> tanah.

Tabel 2. Hasil pengamatan populasi jamur tanah pada lahan sayuran sawi yang diaplikasi insektisida jenis tanah Vertisol dan Inceptisol dan tanpa insektisida.

Perlakuan	Total	Rerata
	Cfu g <sup>-1</sup> tanah (x10 <sup>-4</sup> )	
NV-1	358	71.6 <sup>c</sup>
NV-2	83	16.6 <sup>a+</sup>
NI-1	108	21.6 <sup>a+</sup>
NI-2	146	29.2 <sup>b</sup>
Koefisien Keragaman		12.88%

Ket. : 1. + : Angka-angka yang diikuti huruf yang sama berbeda tidak signifikan pada Uji Beda Nyata Terkecil (BNT) (0.05).

2. NV-1 : Lahan sayuran sawi yang aplikasi insektisida pada jenis tanah Vertisol, NV-2 : tanpa insektisida jenis tanah Vertisol, NI-1 : Lahan sayuran sawi yang aplikasi insektisida pada jenis tanah Inceptisol, NI-2 : Lahan sayuran tanpa insektisida jenis tanah Inceptisol.

Namun berdasarkan hasil pengamatan dan pengukuran, spora jamur pada lahan sayuran sawi yang diaplikasi pestisida jenis tanah Vertisol (NV-1) memiliki ukuran spora yang lebih kecil yaitu, ukuran besar berkisar 650 µm sampai 1.4 cm, ukuran sedang berkisar 540.57 µm sampai 1,289.27 µm dan ukuran kecil 391.11 µm sampai 750.0 µm pada perbesaran 35X sedangkan spora jamur pada lahan sayuran tanpa pestisida (NV-2) memiliki ukuran yang lebih besar yaitu ukuran besar berkisar 1 cm sampai 2.3 cm, ukuran sedang berkisar 8 mm sampai 1.4 cm dan ukuran kecil 1,093.66 µm sampai 5 mm pada perbesaran 35X.

Terjadinya populasi jamur tanah yang sangat signifikan pada lahan sayuran sawi yang diaplikasi insektisida pada jenis tanah Vertisol (NV-1) menunjukkan bahwa secara alami mikroba tertentu mampu menguraikan insektisida yang terakumulasi di dalam tanah yang dimanfaatkan sebagai sumber karbon untuk pertumbuhannya (Yulipriyanto, 2010).

Lebih tingginya populasi jamur tanah pada tanah Vertisol dibandingkan tanah Inceptisol mungkin berkaitan dengan perbedaan tipe mineral liat. Tipe mineral liat utama pada tanah Vertisol adalah *montmorillonit* (tipe 2 : 1) (Brandy and Weil, 2002), sedangkan pada tanah Inceptisol (dalam hal ini mediteran) di dominir oleh mineral kolonit (tipe 1 : 1) (Mella, 2003).

Hasil Penelitian Campbell and Ephgrave (1993) menyimpulkan bahwa mineral klei dapat meningkatkan pertumbuhan jamur *Gwumunnumyces graminis* var. *tritici*. Walaupun hasil penelitian mengenai dampak jenis mineralogi tanah terhadap pertumbuhan dan perkembangan mikroorganisme tidak konsisten. Namun ada beberapa hasil penelitian yang menunjukkan bahwa tipe mineral 2 : 1 seperti *montmorillonit* meningkatkan pertumbuhan jamur lebih dari mineral klei kaolinit (Jackson, 1995).

Subowo (2013) melaporkan bahwa jamur *Aspergillus niger* dapat mendegradasi pestisida deltametrin 500 ppm sebanyak 90.68% dalam waktu 1 jam. Selain itu, jamur ini juga dapat mendegradasi senyawa Poly R-478 (lignin) sebesar 0.48 ppm dalam 30 menit dan memiliki aktivitas selulase sebesar 0.029 unit ml<sup>-1</sup>, mampu menyediakan P organik sebesar 7.62 ppm setelah 5 hari inkubasi serta mampu menghasilkan hormon IAA

sebesar 2.46 ppm setelah 5 hari inkubasi. Jamur ini dapat digunakan untuk penguraian deltametrin sekaligus sebagai mikroba penyubur tanah.

Subowo (2013) melaporkan bahwa *Aspergillus niger* dapat mendegradasi deltametrin 50 ppm sebanyak 0.2% dalam waktu 10 hari. Selanjutnya Liu *et al.* (2001) dalam Subowo (2013) melaporkan bahwa *Aspergillus niger* menghasilkan enzim yang mampu mendegradasi dimetoat, aktivitas enzim optimal pada suhu 50 °C dan pH 7.0.

Menurut Rao (2007) jamur (fungi) merupakan mikroba tanah yang berupa filamen atau hifa, meliputi banyak spesies yang tak mempunyai fase seksual dan menghasilkan banyak spora. Jamur aktif dalam *cellulose* dan *hemicellulosa* dan banyak menggunakan lignin secara aerob. Namun apabila lingkungan menjadi kurang bersahabat jamur dapat bertahan sebab menghasilkan struktur humus yang tidak aktif, seperti *Aospora*, *Ascospora*, *Rhizomospora* untuk mempertahankan diri dan filament atau hifa muncul kembali bila kondisi dalam tanah menjadi cocok untuk perkembangannya. Jamur yang mampu menguraikan pestisida terkait dengan metabolisme dalam tanah adalah *Trichoderma*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Aspergillus* dan *Aspergillus Nidulans*.

Pada lahan sayuran yang diaplikasi insestisida jenis tanah Inceptisol memperlihatkan adanya gangguan terhadap kepadatan populasi dan pertumbuhan spora jamur tanah yang diakibatkan oleh bermacam-macam unsur kimia senyawa toksik yang masuk ke dalam tanah. Hal ini menunjukkan bahwa dalam tindakan budidaya pertanian khususnya pada budidaya sayuran, penggunaan insektisida kimia secara intensif 2 sampai 3 kali per minggu dalam pengendalian OPT dengan konsentrasi yang tinggi dapat meninggalkan residu insektisida di dalam tanah. Residu insektisida yang terakumulasi di dalam tanah mempengaruhi kepadatan populasi dan pertumbuhan spora jamur tanah.

Yulipriyanto (2010) mengatakan penggunaan pestisida yang berlebihan secara nyata berpengaruh pada organisme non target (bukan sasaran) cenderung mereduksi kompleksitas biologi tanah. Hasil penelitian Murugan *et al.* (2013) menunjukkan bahwa total residu pestisida di tanah bervariasi dari 181.2 sampai 350.6 ppm telah mempengaruhi populasi *Actinomycetes* 32% bila dibandingkan dengan tanah tanpa residu. Selanjutnya hasil penelitian Supreeth *et al.* (2016) menunjukkan bahwa pestisida Clorpirifos yang diberikan pada tanah subur yang tidak memiliki riwayat penerapan pestisida dengan 100 dan 200 µg g<sup>-1</sup> diinkubasi selama 1, 7, dan 14 hari menunjukkan penurunan jumlah unit pembentuk spora jamur.

Hasil penelitian Ghany dan Masmali (2016) menunjukkan bahwa pestisida golongan organofosfat profenofos, diazinon dan malathion mengurangi populasi jamur sebesar 56.37%, 51.07% dan 26.65% pada aplikasi 10 hari dibandingkan dengan kontrol. Selanjutnya hasil penelitian Srinivasulu dan Ortiz (2017) menunjukkan hasil uji coba dua insektisida *cypermetrin* dan *clorpirifos* pada dua tanah olahan tomat dengan peningkatan dosis pestisida 7.5-10 kg ha<sup>-1</sup> setelah 30 dan 40 hari inkubasi menurunkan populasi jamur secara drastis.

## Keanekaragaman Jamur Tanah

Hasil analisis keanekaragaman jamur tanah dari isolasi sampel tanah pada lahan sayuran sawi yang diaplikasi insektisida dan tanpa insektisida pada jenis tanah Vertisol dan Inceptisol diketahui dengan menggunakan formula indeks keragaman menurut Shanon-Wiener dalam Odum (1998). Indeks keanekaragaman jamur tanah lahan sayuran yang diaplikasi insektisida dan tanpa insektisida berkisar antara 1.574 hingga 1.60. Nilai indeks keanekaragaman berada pada kisaran 1<H<3 menunjukkan keanekaragaman jamur tanah sedang. Nilai indeks keanekaragaman jamur tanah tanah disajikan pada Tabel 3.

Nilai indeks keanekaragaman jamur tanah yang sedang menunjukkan bahwa residu insektisida yang terakumulasi di dalam tanah tidak berpengaruh secara nyata terhadap keanekaragaman jamur tanah. Berdasarkan hasil analisis lahan sayuran sawi yang telah mengalami perlakuan insektisida tidak mengalami penurunan keanekaragaman yang signifikan. Hal ini kemungkinan dipengaruhi oleh faktor lain. Menurut Odum (1998) keanekaragaman jenis dipengaruhi oleh pembagian atau penyebaran individu dalam setiap jenisnya, karena suatu ekosistem walaupun banyak jenisnya tetapi bila penyebaran individu tidak merata maka keanekaragaman jenis dinilai rendah. Selanjutnya menurut Oka (2005) penggunaan pestisida sintetik yang tidak bijaksana telah menjadi ancaman bagi kelestarian makhluk hidup.

Hasil penelitian Binhui *et al.* (2011) menunjukkan indeks keragaman jamur berkurang dengan meningkatnya kandungan pestisida total di tanah berpasir. Hal ini menunjukkan bahwa pencemaran pestisida mengakibatkan menurunnya keragaman fungsional komunitas mikroba tanah. Mikroba di tanah berpasir lebih tahan terhadap pestisida organofosfat, dibandingkan dengan tanah lengket.

Jamur (fungi) merupakan mikroba tanah yang berupa filamen atau hifa. Jamur meliputi banyak spesies yang tidak mempunyai fase seksual dan menghasilkan banyak spora. Jamur aktif dalam *cellulose* dan *hemicellulosa* dan banyak menggunakan lignin secara aerob. Namun apabila lingkungan menjadi kurang bersahabat jamur dapat bertahan sebab menghasilkan struktur humus yang tidak aktif, seperti *Aospora*, *Ascospora*, *Rhizomospora* untuk mempertahankan diri dan filament atau hifa muncul kembali bila kondisi dalam tanah menjadi cocok untuk perkembangan jamur. Jamur yang mampu menguraikan pestisida terkait dengan metabolisme dalam tanah seperti *Trichoderma*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Aspergillus* dan *Aspergillus Nidulans*.

Berdasarkan hasil pengamatan morfologi jamur yang teridentifikasi pada lahan sayuran sawi yang diaplikasi insektisida jenis tanah Vertisol (NV-1) berjumlah 5 spesies/jenis (*Penicillium*, *Mucor*, *Aspergillus candidus* L., *Aspergillus flavus*, *Trichoderma*) dan tanpa insektisida (NV2) berjumlah 7 spesies/jenis (*Penicillium*, *Mucor*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus nidulans*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus candidus* L., dan *Fusarium*). Pada lahan sayuran sawi aplikasi insektisida jenis tanah Inceptisol (NI-1) berjumlah 5 spesies (*Penicillium*, *Mucor*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger* dan *Fusarium*) tanpa insektisida (NI-2) berjumlah 6 spesies (*Penicillium*, *Mucor*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus nidulans*, dan *Fusarium*).

Tabel 3. Hasil analisis keanekaragaman jamur tanah pada lahan sayuran sawi yang diaplikasi insektisida dan tanpa pada jenis tanah Vertisol dan Inceptisol

Indeks	Hasil Analisis							
	NV-1	Ket.	NV-2	Ket.	NI-1	Ket.	NI-2	Ket.
Spesies	5	-	7	-	5	-	6	-
Individu	358	-	83	-	108	-	146	-
Keanekaragaman (H')	1.608	Sedang	1.574	Sedang	1.579	Sedang	1.595	Sedang

### Frekuensi Kehadiran Jamur Tanah

Berdasarkan hasil analisis frekuensi kehadiran jamur tanah pada lahan sayuran sawi yang diaplikasi insektisida dan tanpa jenis tanah Vertisol dan Inceptisol, spesies jamur tanah *Penicillium* memiliki frekuensi kehadiran tertinggi yaitu 100%, selanjutnya diikuti oleh jamur *Mucor* 90%, jamur *Aspergillus flavus* 60%, jamur *Aspergillus niger* 50%, jamur *Aspergillus candidus* L. 25%, jamur *Aspergillus nidulus* 20%, jamur *Fusarium* 15%, dan terendah adalah Jamur *Trichoderma* 10%.

Frekuensi kehadiran jamur tanah menunjukkan bahwa kehadiran jamur tanah pada lahan sayuran sawi yang diaplikasi insektisida dan tanpa insektisida jenis tanah Vertisol dan Inceptisol termasuk kelompok jenis aksidental (sangat jarang) sampai jenis absolut (sangat sering). Hewan tanah yang frekuensi kehadirannya tinggi umumnya kepadatan relatifnya tinggi (Suin, 1997).

Jamur *Penicillium* dan *Aspergillus* merupakan jamur yang umum terdapat dalam tanah, tumbuh dengan cepat dan bersifat antagonistik terhadap jamur lain. Mekanisme antagonis jamur tersebut terjadi dengan cara kompetisi, mikoparasitik, dan antibiosis.

### Sifat Fisika dan Kimia Tanah

Hasil pengukuran dan analisis faktor fisika dan kimia tanah pada lahan sayuran sawi pada jenis tanah Vertisol dan Inceptisol yang diaplikasi insektisida dan tanpa insektisida disajikan pada Tabel 4.

Tanah Vertisol adalah tanah-tanah dengan kandungan klei tinggi (lebih dari 30%) di seluruh horizon, sedangkan tanah Inceptisol adalah tanah-tanah yang sedang

berkembang dengan komposisi fraksi pasir yang tinggi dan kebanyakan tanah ini cukup subur. Dalam penelitian ini sifat fisik kimia tanah pada jenis tanah Vertisol dan Inceptisol yang diaplikasi pestisida kandungan klei pada jenis tanah Vertisol lebih tinggi dari jenis tanah Inceptisol walaupun tergolong rendah. Mineral klei mempunyai ukuran yang halus dan mempunyai luas permukaan per satuan volume yang besar, sehingga sangat berpengaruh pada penyerapan bahan aktif pestisida.

Daya afinitas pestisida terhadap tanah dipengaruhi oleh kandungan liat tanah. Pada tanah bertekstur pasir, residu pestisida mudah bergerak dan masuk ke dalam tanah dibandingkan dengan tanah bertekstur liat. Pada tanah bertekstur pasir pori makro lebih banyak dari pada pori mikro, sehingga bahan tersuspensi dan terlarut mudah bergerak keluar dari daerah perakaran.

Selain kelas tekstur tanah kandungan bahan organik juga berpengaruh terhadap penyerapan residu pestisida dalam tanah. Dalam penelitian sifat fisik kimia tanah pada jenis tanah Vertisol dan Inceptisol yang diaplikasi pestisida kandungan bahan organik pada jenis tanah Vertisol dan Inceptisol cukup tinggi. Hasil penelitian Kurniawati *et al.* (2010) menunjukkan bahwa tanah dengan kandungan bahan organik yang semakin tinggi penyerapan *Deltametrin* akan semakin meningkat. Aktivitas mikroba tampak mendominasi dalam proses ini, karena bahan organik tanah seringkali menyediakan karbon yang baik dan sumber energi bagi mikroba tanah untuk tumbuh dan berfungsi dengan baik. Menurut Hanafiah (2014) Bahan organik berpengaruh secara langsung terhadap perkembangan dan pertumbuhan mikrobia yaitu sebagai sumber energi.

Tabel 4. Hasil pengukuran dan analisis faktor fisika – kimia tanah pada lahan sayuran sawi yang diaplikasi insektisida dan tanpa pada jenis tanah Vertisol dan Inceptisol

No	Parameter	Jenis tanah Vertisol		Jenis tanah Inceptisol	
		Aplikasi insektisida	tanpa insektisida	Aplikasi insektisida	Tanpa insektisida
1.	Kemasaman (pH) tanah	6.6	6.8	6.2	6.9
2.	Kelembaban tanah	70%	90%	70%	80%
3.	C-organik	2.38%	3.25%	3.73%	0.05%
4.	Unsur hara N	0.16%	0.61%	0.25%	0.13%
	P	23.03 ppm	25.33 ppm	30.96 ppm	17.65 ppm
	K	0.74 me 100 g <sup>-1</sup>	0.94 me 100 g <sup>-1</sup>	0.71 me 100 g <sup>-1</sup>	0.64 me/100 g <sup>-1</sup>
5.	Tekstur tanah (komposisi fraksi)				
	Pasir	76.00%	76.67%	80.00%	85.33%
	Debu	11.33%	6.67%	11.33%	5.33%
	Liat	12.67%	16.67%	8.67%	9.33%
	Kelas tekstur	Lempung Berpasir	Lempung Berpasir	Pasir berlempung	Pasir Berlempung

Menurut Rahayuningsih (2009) peristiwa peruraian pestisida berlangsung secara abiotik (hidrolisis dan fotolisis) dan biotik (secara reaksi kimia dan biokimia). Transformasi secara abiotik terdiri atas hidrolisis dan fotolisis. Reaksi fotolisis hanya terjadi pada permukaan tanah sedangkan reaksi hidrolisis dapat berlangsung pada seluruh fase dan pada berbagai posisi. Sinar ultraviolet pada sinar matahari akan menyebabkan peruraian pestisida selama berada di lingkungan. Transformasi secara biotik di lingkungan merupakan proses yang sangat kompleks karena lingkungan mengandung berbagai tipe mikroorganisme, seperti bakteri, *actinomycetes*, jamur, ganggang, dan protozoa. Laju transformasi secara biotik dalam tanah dipengaruhi oleh kelembaban tanah, kandungan bahan organik dalam tanah, pH, suhu, dan posisi lapisan tanah.

Gangguan pestisida oleh residunya terhadap tanah biasanya terlihat pada tingkat kejenuhan karena tingginya kandungan pestisida persatuan volume tanah. Unsur-unsur hara alami pada tanah makin terdesak dan sulit melakukan regenerasi hingga mengakibatkan tanah-tanah masam dan tidak produktif (Sulistiyono, 2004).

Pestisida yang masuk ke suatu lingkungan akan diserap oleh berbagai macam komponen dalam lingkungan tersebut, kemudian ditransportasikan ke tempat lain melalui transport ekosistem, serta mengalami berbagai macam sistem perombakan melalui agen-agen fisik, kimia dan biologis. Agen perombakan biologis yang paling penting adalah mikroba tanah. Apabila gangguan ini serius populasi mikroba tanah sangat berkurang akan berdampak lebih luas terhadap kelestarian ekosistem tanah.

Pengaruh langsung pestisida terhadap aspek-aspek mikrobiologi yaitu, perubahan populasi *Rhizobium*, mikroba selulolitik dan mikroba pelarut fosfat yang menentukan kesuburan tanah, perubahan pada aspek kuantitatif beberapa mikroba dalam tanah yang mengganggu keseimbangan mikrobiologis (Rao, 2007).

## SIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan adanya residu insektisida pada sampel tanah jenis tanah Vertisol terdeteksi residu berbahan aktif Lamda-cihalotrin golongan organofosfat jenis alika dengan konsentrasi 0.060 ppm dan jenis tanah Inceptisol terdeteksi residu berbahan aktif Dimethoat golongan piretroid jenis toxafin dengan konsentrasi 0.042 ppm. Konsentrasi residu yang berada di dalam tanah pada lahan sayuran sawi masih berada di bawah batas maksimum residu (BMR = 0.1 ppm).

Residu insektisida berbahan aktif Lamda-cihalotrin pada jenis tanah Vertisol tidak memberikan dampak terhadap kepadatan populasi jamur tanah sedangkan insektisida Dimethoat pada jenis tanah Inceptisol menurunkan kepadatan populasi jamur tanah 26%. Residu insektisida yang terakumulasi dalam tanah lahan sayuran sawi pada jenis tanah Vertisol dan Inceptisol terhadap nilai indeks keanekaragaman jamur tanah tidak dipengaruhi secara nyata sedangkan frekuensi kehadiran tertinggi jamur tanah pada lahan sayuran yang diaplikasi insektisida dan tanpa pada jenis tanah Vertisol dan Inceptisol spesies *penicillium* dengan konstansi 100% dan *mucor* 90%.

## DAFTAR PUSTAKA

- AOAC [Association of Official Analytical Chemists]. 2007. Pesticide residues in foods by acetonitrile extraction and partitioning with magnesium sulfate. AOAC INTERNATIONAL.
- Brandy, N.C. and R.R. Weil. 2002. *The nature and properties of soil*. Prentice hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Binhui, J., Y. Chanqi, W. Hengpeng, G. Kunyu, L. Bin, J. Li, H. Rui and P. Wei. 2011. Study on relationship between microbial diversity and organophosphate pesticide residues in planting base soils of shenyang. Intelligent Computation Technology and Automation, International Conference.
- Campbell, R. and J.M. Ephgrave. 1993. Effect of bentonite clay on the growth of *gymnomyces graminis* var. *tritici* and its interactions with antagonistic bacteria. *Journal of General Microbiology*, 129: 771-777.
- Djojsumarto, P. 2008. *Pestisida dan Aplikasinya*. Agromedia Pustaka, Jakarta.
- Ellouze, W., A.M. Taheri, L.D. Bainard, C. Yang, N. Bazghaleh, A.N. Borrell, K. Hanson and C. Hamel. 2014. Soil fungal resources in annual cropping systems and their potential for management. *BioMed Research International*, 2014 (2014). Article ID 531824.
- Ghany-Abd El, T.M dan I.A. Masmali. 2016. Fungal biodegradation of organophosphorus insecticides and their impact on soil microbial population. *Journal of Plant Pathology and Microbiology*, 7(5): 349-355. doi:10.4172/2157-7471.1000349.
- Handayanto, E. dan K. Hairiah. 2009. *Biologi tanah. Landasan Pengelolaan Tanah Sehat*. Adipura, Yogyakarta.
- Hanafiah, K.A. 2014. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Divisi Buku Perguruan Tinggi. Raja Grafindo Persada, Jakarta
- Jackson, T.A. 1995. Effect of clay mineral, oxhydroxides, and humic matter on microbial communities of soils, sediment, and water. P. 165-200. In P. M. Huang, J. Berthelin, J. M. Bollag, W. B. Mc Gilli. A. L. Page (Eds.) *Environmental impact of Soil Component interactions. Metals, other Inorganics, an Microbial Activities*. CRC Lewis Publication, Boca Raton.
- Jatmiko, S.Y., E. Martono, D. Prajitno dan S. Worosuprojo. 2010. Distribusi ruang insektisida heptaklor di lahan pertanian Kabupaten Bantul Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*, 16(1): 47-54.
- Kurniawati S., Zarsito and Noegrohati. 2010. Deltamethrin dynamics in soils from Daerah Istimewa Yogyakarta Province. *The 2<sup>nd</sup> International Conference Chemical Sciences Proseeding*.



- Mella, W.I.I. 2003. Genesis and mineralogy of alfisols and mollisols on raised coral reef in west Timor Indonesia [Thesis]. University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada.
- Murugan, A.V., T.P. Swarman and S. Gnanasambadan. 2013. Status and effect of pesticide residues in soils under different land uses of Andaman Islands, India. *Environ. Monit. Assess.*, 185(10): 8135–8145. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3162-y>.
- Nahas, E.A. 2013. Perilaku petani sayur dalam penggunaan pestisida kimiaawi (studi kasus di Desa Mata Air dan Kelurahan Tarus, Kecamatan Kupang Tengah, Kabupaten Kupang [Tesis]. Ilmu Lingkungan Universitas Nusa Cendana, Kupang.
- Narwanti, I., E. Sugiharto dan C. Anwar. 2013. Residu pestisida piretroid pada bawang merah di Desa Srigading, Kecamatan Sanden Kabupaten Bantul. *Jurnal Ilmiah Kefarmasian*, 2(2): 119-128.
- Nasution, R.M., T. Sabrina dan Fauzi. 2014. Pemanfaatan jamur pelarut fosfat dan mikoriza untuk meningkatkan ketersediaan dan serapan P tanaman jagung pada tanah alkalin. *Jurnal Agroteknologi*, 2(3): 1003-100.
- Odum, E.P. 1998. *Dasar-dasar Ekologi*. Edisi ketiga. Universitas Gadjah Mada Press, Yogyakarta.
- Oka, 2005. *Pengendalian Hama Terpadu*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Rahayuningsih, 2009. *Analisis Kuantitatif Perilaku Pestisida di Tanah*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Rao, N.S.S. 2007. *Mikroorganisme Tanah dan Pertumbuhan Tanaman*. Universitas Indonesia Press, Jakarta
- Saraswati, R., E. Husein dan R.D.M. Simanungkalit. 2007. *Metode Analisis Biologi Tanah*. Balai Besar Litbang Sumberdaya lahan Pertanian Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian.
- Sembel, D.T. 2015. *Toksikologi Lingkungan*. Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Srinivasulu, M. and D.R. Ortiz. 2017. Effect of pesticides on bacterial and fungal populations in ecuadorian tomato cultivated soils. *Journal Environmental Processes*, 4(1): 93–105.
- Suandi, D.P., T. Sabrina dan M. Sembiring. 2015. Pengaruh jamur pelarut fosfat, waktu aplikasi dan pupuk fosfat untuk meningkatkan ketersediaan dan serapan P tanaman kentang pada andisol terdampak erupsi. *Jurnal Agroekoteknologi*, 4(1): 1777-1785.
- Subandi, H.M. 2010. *Mikrobiologi*. Rosdakarya, Bandung.
- Subowo, Y.B. 2013. Kemampuan beberapa jamur tanah dalam menguraikan pestisida deltametrin dan senyawa lignoselulosa. *Berita Biologi*, 12(2): 231-238.
- Suherly, L. 1988. *Ekologi*. Yayasan Obor Indonesia, Jakarta
- Suin, N.M. 1997. *Ekologi Hewan Tanah*. Bumi Aksara ITB, Bandung.
- Sulistiyono, L. 2004. Dilema penggunaan pestisida dalam sistem pertanian tanaman hortikultura di Indonesia. *Makalah Pribadi*. Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Supreeth, M., M.A. Chandrashekar, N. Sachin and S. Raju. 2016. Effect of chlorpyrifos on soil microbial diversity and its biotransformation by *Streptomyces* sp. HP-11. *Jurnal Biotech*, 6: 147. doi: 10.1007 / s13205-016-0462-2.
- Wijaya, N. 2014. *Biologi dan Lingkungan*. Universitas Pendidikan Ganesha Press, Yogyakarta.
- Wudianto, R. 2010. *Petunjuk Penggunaan Pestisida*. Edisi Revisi. Penebar Swadaya, Jakarta.
- Yuliprianto, H. 2010. *Biologi Tanah dan Strategi Pengelolaannya*. Graha Ilmu, Yogyakarta.
-