

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Sayuran

Sayuran merupakan bahan pangan asal tumbuhan yang mengandung kadar air tinggi dan dikonsumsi dalam keadaan segar atau setelah diolah. Sayuran dikonsumsi dengan cara yang berbeda-beda, baik sebagai bagian dari menu utama maupun sebagai makanan sampingan. Sayuran sangat bermanfaat bagi kesehatan karena mengandung kadar air tinggi, nutrisi, pembentuk sifat basa, vitamin, mineral, dan serat pangan (Supriati *et al.*, 2008).

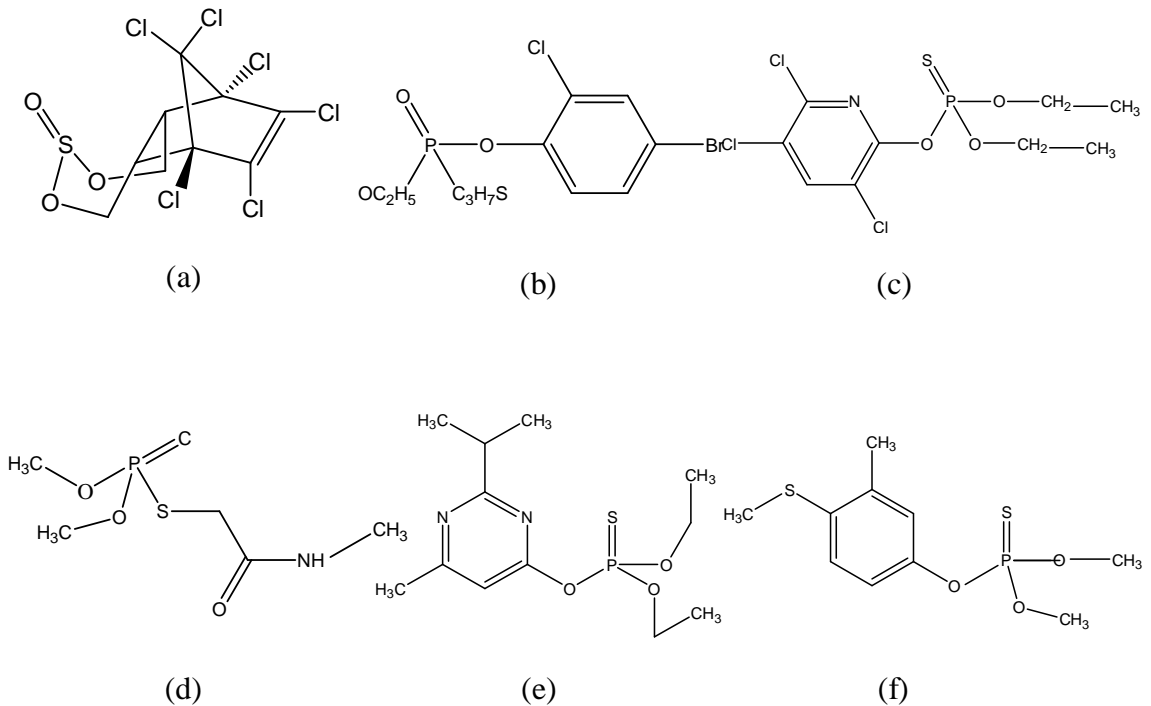
Permasalahan utama dalam budidaya sayuran yaitu serangan hama dan penyakit tanaman yang dapat menurunkan kualitas dan kuantitas produksi. Oleh karena itu, petani menggunakan pestisida untuk mengatasi serangan hama dan penyakit tanaman tersebut. Penggunaan pestisida yang tidak sesuai dengan aturan menyebabkan sayuran menjadi tercemar oleh pestisida tersebut. Akibatnya banyak sayuran yang beredar di pasaran mengandung residu pestisida yang melebihi batas maksimum (BMR). Residu insektisida golongan organofosfat ditemukan pada jenis sayuran cabai dan wortel dengan kandungan profenofos 0,11 mg/kg, deltametrin 7,73 mg/kg, klorpirifos 2,18 mg/kg, tulubenzuron 2,89 mg/kg, dan permetrin 1,80 mg/kg (Soemirat, 2003). Residu pestisida diazinon pada bawang merah dari Alahan Panjang dan Sungai Nanam Kecamatan Lembah

Gumati Padang telah melewati nilai BMR yaitu 2,006 mg/kg dan 1,764 mg/kg (Asmita, 2010).

## 2.2 Pestisida

Pestisida berasal dari Bahasa Inggris yaitu *pest* berarti hama dan *cida* berarti pembunuh. Pestisida merupakan zat yang dapat membunuh atau mengendalikan berbagai hama dan penyakit tanaman. Menurut Peraturan Pemerintah No. 7 Tahun 1973 pestisida adalah semua zat kimia dan bahan lain serta jasad renik dan virus yang dipergunakan untuk: (1) memberantas hama dan penyakit yang merusak tanaman; (2) memberantas rerumputan; (3) mematikan daun dan mencegah pertumbuhan yang tidak diinginkan; (4) mengatur atau merangsang pertumbuhan tanaman; (5) memberantas hama pada hewan piaraan atau ternak, (6) memberantas hama air; (7) memberantas binatang dan jasad renik dalam rumah tangga, bangunan dan dalam alat-alat pengangkutan; (8) memberantas binatang-binatang yang dapat menyebabkan penyakit pada manusia atau binatang yang perlu dilindungi dengan penggunaan pada tanaman, tanah, atau air.

Menurut Kusnopranto (1995), berdasarkan bahan aktifnya pestisida dapat digolongkan menjadi organoklor, organofosfat, karbamat, piretroid, dan kelompok lainnya. Struktur kimia pestisida tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur kimia pestisida (a) endosulfan, (b) profenofos, (c) klorpirifos, (d) dimetoat, (e) diazinon, dan (f) fention

### a. Organoklor

Organoklor merupakan racun terhadap susunan saraf (*neuro toxins*) yang merangsang sistem saraf serangga maupun mamalia hingga menyebabkan tremor dan kejang-kejang. Salah satu bahan aktif golongan organoklor yang banyak digunakan yaitu endosulfan yang merupakan insektisida dan akarisisida berspektrum luas. Endosulfan pertama kali digunakan di Amerika Serikat pada tahun 1954 untuk mengendalikan hama serangga pertanian dan tungau pada berbagai jenis sayuran dan buah.

Endosulfan diperdagangkan dengan beberapa nama dagang seperti Thiodan, Akodan, Fanodan, dan lain-lain (Komisi Pestisida, 1997). Endosulfan ini

berbentuk pekatan berwarna coklat yang dapat dielusikan dalam air, mempunyai kelarutan rendah dalam air tetapi larut dalam pelarut organik.

Endosulfan merupakan salah satu insektisida organoklor golongan siklodien, campuran dua isomer yaitu isomer alfa dan isomer beta. Endosulfan memiliki nama kimia 6,7,8,9,10,10-hexachloro-1,5,5a,6,9,9a-hexahydro-6,9-methano-2,4,3-benzodioxathiepin-3-oxide dan rumus kimia  $C_9H_6Cl_6O_3S$  serta memiliki bobot molekul 406, 95 dalton. Waktu paruh endosulfan dalam air lebih kurang 4 hari, tetapi kondisi pH yang rendah akan memperpanjang waktu paruhnya. Di dalam air endosulfan dapat didegradasi membentuk alkohol. Di dalam tanah isomer alfa lebih cepat hilang dibanding isomer beta dan membentuk hasil degradasi berupa senyawa endosulfan sulfat (Arianti, 2002).

Struktur molekul senyawa endosulfan mempunyai bentuk heterosiklik yang secara sintesis dapat diperoleh melalui reaksi kondensasi dies-alder dari heksaklopentadiena dan cis-2-buten-1,4-diol yang dilanjutkan pada tahap kedua yaitu pengubahan dari senyawa sulfit melalui persamaan reaksi dengan tionil klorida (Sitting, 1980).

Endosulfan memiliki tingkat toksisitas yang tinggi bagi serangga, ikan, mamalia, dan organisme lainnya. Endosulfan masuk ke dalam tubuh melalui beberapa cara yaitu melalui pencernaan, pernafasan, dan jaringan kulit. Adanya endosulfan dalam tubuh mengakibatkan terjadinya penghambatan ATP-ase terutama pada mitokondria akson sinaptik dan sedikit pada endoplasmik retikulum.

Penghambatan ATP-ase berkaitan dengan  $Ca^{++}$  yang menyebabkan peningkatan pelepasan neurotransmitter (Tarumingkeng, 1992).

## **b. Organofosfat**

Organofosfat adalah racun pembasmi serangga yang paling toksik terhadap binatang bertulang belakang seperti ikan, burung, kadal, cicak, dan mamalia. Pestisida ini mengganggu pergerakan otot dan dapat menyebabkan kelumpuhan. Organofosfat dapat menghambat aktifitas enzim cholinesterase yang mempunyai peranan penting pada transmisi saraf.

Senyawa organofosfat adalah kelompok insektisida yang paling banyak digunakan di dunia. Organofosfat tidak persisten atau bioakumulasi di lingkungan. Senyawa organofosfat pertama dikenal pada tahun 1854, namun karena sifatnya yang toksik maka senyawa ini baru muncul kembali pada tahun 1930-an. *Tetraethyl pyrophosphate* (TEPP) adalah insektisida organofosfat yang pertama kali digunakan.

Senyawa golongan organofosfat merupakan turunan dari asam fosfat yang dapat dibedakan menjadi turunan alifatik seperti tetraetilpiriofosfat, azordin, diklorovos, mevinfos, dan metamidofos, turunan fenil seperti parathon, profenofos, sulprofos, dan turunan heterosoklik seperti diazinon, azinfosmetil, klorpirifos (Minton and Murray, 1988).

Toksistas pestisida organofosfat sangat tergantung pada kandungan bahan aktifnya. Organofosfat dapat dikelompokkan kedalam tiga kelompok, (a) kelompok yang sangat toksik, seperti chlorfenvinphos, yang memiliki LD<sub>50</sub> pada range 1-30 mg/kg, (b) kelompok yang memiliki LD<sub>50</sub> pada range 30-50 mg/kg,

seperti dichlorvos, dan (c) kelompok toksik yang memiliki range 60-1300 mg/kg, seperti malathion (Minton and Murray, 1988).

Senyawa organofosfat bersifat tidak stabil, mudah terurai dilingkungan dan bersifat lebih toksik dibandingkan senyawa organoklor, dengan konsentrasi yang kecil mampu menyebabkan kematian (Afriyanto, 2008). Senyawa organofosfat dapat mempengaruhi sistem saraf dan menghambat fungsi enzim asetilkolin esterase, sehingga asetilkolin tidak terhidrolisa. Keracunan pestisida golongan organofosfat disebabkan asetilkolin yang berlebihan, mengakibatkan perangsangan terus menerus saraf muskarinik, nikotidik, dan sistem saraf pusat.

Gejala efek muskarinik yaitu saliva, lacrimasi, urinasi, diare, kejang perut, nausea, vomitus, bradycardia, miosis, dan berkeringat. Gejala efek nikotidik yaitu pegal-pegal, lemah, tremor, paralysis, dyspnea, dan tachycardia. Gejala efek sistem saraf pusat yaitu bingung, gelisah, insomnia, neurosis, sakit kepala, emosi tidak stabil, bicara terbata-bata, depresi respirasi, dan gangguan jantung, serta koma (Afriyanto, 2008). Semua organofosfat dapat terabsorpsi melalui oral, inhalasi maupun kulit yang sehat (Sartono, 2002).

Profenofos merupakan salah satu insektisida golongan organofosfat.

Insektisida ini merupakan racun kontak dan lambung berspektrum luas.

Mempunyai nama kimia O-4-bromo-2-klorofenil O-etil S-propil fosforotioat ( $C_{11}H_{15}O_3PSBrCl$ ) dengan berat molekul 373, 65 g/mol (US EPA, 2006). Di Indonesia, profenofos pada umumnya diaplikasikan pada tanaman cabai dan tomat. Profenofos memiliki nama dagang Curacron, Polycron, dan Selecron.

Profenofos merupakan insektisida yang mudah terdegradasi. Profenofos dalam tanah akan hilang pada kondisi netral sampai basa dengan waktu paruh beberapa hari. Degradasi klorpirifos dalam tanah akan menghasilkan produk 4-bromo-2-chlorophenol dan O-ethyl-S-propylphosphorthioate. 4-bromo-2 chlorophenol bersifat persisten di tanah sedangkan O-ethyl-S-propyl phosphorthioate belum diketahui tingkat persistensinya (US EPA, 2006).

Proses degradasi profenofos terjadi karena reaksi-reaksi hidrolisis, fotolisis, dan aktivitas mikroorganisme. Pada proses hidrolisis dengan pH 7, waktu paruh profenofos adalah 24-62 hari. Pada proses fotolisis di air dan di tanah senyawa profenofos bersifat stabil. Pada proses aktivitas mikroorganisme di tanah dengan kondisi aerobik waktu paruh profenofos 104-108 hari sedangkan pada kondisi anaerobik waktu paruhnya adalah 3 hari. Pada proses aktivitas mikroorganisme anaerobik di air waktu paruh profenofos adalah 3 hari (US EPA, 2006).

Pestisida golongan organofosfat yang banyak digunakan selain profenofos adalah klorpirifos. Klorpirifos adalah insektisida golongan organofosfat yang bersifat non sistemik (WHO, 2002) yang bekerja ketika terjadi kontak dengan kulit, termakan (masuk ke lambung), dan terhirup (masuk ke sistem pernafasan).

Penerapan klorpirifos pada bibit dan tumbuhan dilakukan dengan penyemprotan langsung atau tidak langsung. Klorpirifos adalah kristal putih yang memiliki bau yang tajam, yang tidak bercampur dengan air tapi bercampur dengan liquid berminyak. Klorpirifos digunakan untuk mengendalikan *coleoptera*, *diptera*, *homoptera*, dan *lepidoptera*, serta untuk mengontrol hama seperti nyamuk (larva dan dewasa), *blattellidae*, *muscidae*, dan *isoptera*.

Klorpirifos memiliki karakteristik yaitu dari tidak memiliki warna sampai berwarna putih kristal, serta memiliki bau seperti senyawa sulfur. Klorpirifos memiliki tekanan uap  $1,87 \times 10^{-5}$  mmHg pada suhu  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan memiliki berat molekul 350,6 g/mol. Sifat lainnya dari klorpirifos yaitu memiliki tingkat kelarutan 0,0014 g/L (1,4 mg/L) pada suhu  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan memiliki koefisien penyerapan tanah sebesar 360 sampai 31.000 tergantung pada tipe tanah dan kondisi lingkungan (Christensen *et al.*, 2009). Klorpirifos mempunyai nama dagang Dursban, Lorsban, Dowcow, Eradex, dan Piridane.

Proses utama dalam degradasi klorpirifos adalah metabolisme aerobik dan anaerobik. Klorpirifos terserap (terabsorpsi) secara kuat kedalam tanah dan tidak bisa langsung terlepas. Karena sifat alami klorpirifos yang non polar, klorpirifos memiliki kelarutan yang rendah dalam air dan di alam memiliki kecenderungan untuk membagi fasa dari fasa aqueous menjadi fasa organik (WHO, 2004).

Proses degradasi klorpirifos terjadi karena reaksi-reaksi hidrolisis, fotolisis, dan aktivitas mikroorganisme. Pada proses hidrolisis dengan pH 7, waktu paruh klorpirifos adalah 72 hari. Pada proses fotolisis di air dan di tanah senyawa klorpirifos bersifat stabil. Pada proses aktivitas mikroorganisme di tanah dengan kondisi aerobik waktu paruh klorpirifos 11-180 hari sedangkan pada kondisi anaerobik waktu paruhnya adalah 39-51 hari (Christensen *et al.*, 2009).

Dimetoat (dimethoate) memiliki nama kimia O,O-dimethylS-(N-methylcarbamoylmethyl) phosphorodithioate dengan rumus empiris  $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{NO}_3\text{PS}_2$ , serta memiliki berat molekul 229,3 g/mol. Dimetoat memiliki karakteristik yaitu berwarna kristal putih padat, berbau merkaptan, dan titik didih



45–48 °C. Dimetoat memiliki tingkat kelarutan 25 g/L pada suhu 21 °C, memiliki tingkat kelarutan yang tinggi pada chloroform, methylene chloride, benzene, toluene, alkohol, ester, dan keton, serta memiliki tingkat kelarutan yang rendah pada xylen, karbon tetrachloride, dan aliphatik hidrokarbon (*United States Environmental Protection Agency, 2008*).

Diazinon pertama kali terdaftar di Amerika Serikat pada tahun 1956 sebagai insektisida organofosfat, akarisida, dan nematisida. Diazinon merupakan jenis insektisida organofosfat yang digunakan untuk pertanian dan non pertanian (rumah dan taman). Diazinon adalah insektisida non-sistemik yang diaplikasikan pada buah-buahan, tanaman hortikultura, kentang, padi, tebu, tembakau, dan lain-lain.

Sifat fisik dan kimia diazinon yaitu tidak mempunyai warna, mempunyai tekanan uap  $8,25 \times 10^{-5}$  mmHg pada suhu 25 °C, memiliki rumus molekul  $C_{12}H_{21}N_2O_3PS$  dengan berat molekul 304,36 g/mol, tingkat kelarutan dalam air 40 mg/L pada suhu 25 °C dan memiliki koefisien penyerapan tanah (KOC) sebesar 2,28 (*Christensen et al., 2009*). Diazinon mempunyai nama dagang Diazinon, Spectracide, dan Basudin.

Diazinon merupakan senyawa organofosfat yang tidak persisten di dalam tanah. Diazinon yang diaplikasikan akan hilang dari tanah melalui degradasi secara kimiawi dan biologi. Sekitar 46% dari diazinon yang ditambahkan ke tanah akan hilang dalam 2 minggu. Jika diazinon diaplikasikan ke dalam tanah, tidak akan terikat secara kuat dengan tanah (*Christensen et al., 2009*).

Menurut Christensen *et al.* (2009), hidrolisis diazinon menjadi lebih lambat pada  $\text{pH} > 6$ , tetapi cukup signifikan di tanah. Produk utama dari hidrolisis adalah 2-isopropyl-4-methyl-6-hydroxypyrimidine. Namun, jika tidak cukup air pada kondisi asam, tetraetil dithio dan thiopirofosfat diproduksi, keduanya lebih toksik dari diazinon.

Fention (fention) pertama kali terdaftar di Amerika Serikat pada tahun 1965 sebagai insektisida, akarisisida, dan pengendali serangga lainnya. Fention memiliki nama kimia O,O-dimethylO-(4-(methylthio)-m-tolyl) phosphorothioate dengan rumus kimia  $\text{C}_{10}\text{H}_{15}\text{O}_3\text{PS}_2$  dan bobot molekul 278,3 g/mol (*United States Environmental Protection Agency*, 2001).

Fention murni adalah cairan berwarna kuning-coklat dengan sedikit bau bawang putih. Titik cairnya adalah  $< -25^\circ\text{C}$  dan titik didih  $105^\circ\text{C}$  pada 0,01 mm Hg. Fention tidak larut dalam air dan dapat larut dengan methanol, ethanol, ether, acetone, dan pelarut organik lainnya (terutama chlorinated hydrocarbons). Fention stabil hingga suhu  $210^\circ\text{C}$  dan tahan pada alkali sampai pH 9 (*United States Environmental Protection Agency*, 2001).

### **c. Karbamat**

Pestisida jenis karbamat menghambat enzim cholinesterase dan dapat memperkuat efek toksik dari efek bahan racun lain. Karbamat merupakan insektisida yang bersifat sistemik dan berspektrum luas sebagai nematosida dan akarisisida (Bonner *et al.*, 2005).

#### d. Piretroid

Piretroid merupakan salah satu insektisida tertua di dunia yang berasal dari beberapa ester pyretrin yang diekstraksi dari bunga *chrysantemum*. Piretroid yang relatif stabil terhadap sinar matahari antara lain: deltametrin, permetrin, fenvalerate. Sedangkan yang tidak stabil terhadap sinar matahari antara lain: difetrin, sipermetrin, fluvalinate, siflutrin, fenpropatrin, tralometrin, sihalometrin, dan flusitrate.

#### e. Kelompok lain

Senyawa yang diproduksi secara alami oleh tumbuh-tumbuhan. Produk tumbuhan yang secara alami merupakan pestisida antara lain nikotin, rotenon, kamper, dan terpenium.

Frekuensi penyemprotan pestisida sesuai golongan adalah sebagai berikut:

##### a. Golongan organofosfat

Golongan ini mempunyai masa degradasi dalam lingkungan sekitar 2 minggu.

Dengan demikian frekuensi penyemprotan golongan ini adalah 2 minggu sekali.

##### b. Golongan karbamat

Golongan ini hampir sama dengan organofosfat. Mempunyai masa degradasi di lingkungan hampir sama dengan organofosfat yaitu sekitar 12-14 hari, oleh karena itu maka frekuensi penyemprotannya berkisar 12-14 hari.

Dalam menentukan pestisida yang tepat, perlu diketahui karakteristik pestisida yang meliputi efektivitas, selektivitas, fitotoksitas, residu, resistensi, LD<sub>50</sub>, dan kompatibilitas (Djojsumarto, 2008).

a. Efektivitas

Merupakan daya bunuh pestisida terhadap organisme pengganggu. Pestisida yang baik seharusnya memiliki daya bunuh yang cukup untuk mengendalikan organisme pengganggu dengan dosis yang tidak terlalu tinggi, sehingga memperkecil dampak buruknya terhadap lingkungan.

b. Selektivitas

Selektivitas sering disebut dengan istilah spektrum pengendalian, merupakan kemampuan pestisida untuk membunuh beberapa jenis organisme. Pestisida yang disarankan untuk pengendalian hama terpadu adalah pestisida yang berspektrum sempit.

c. Fitotoksitas

Fitotoksitas merupakan sifat yang menunjukkan potensi pestisida untuk memberikan efek keracunan bagi tanaman yang ditandai dengan pertumbuhan yang abnormal setelah aplikasi pestisida.

d. Residu

Residu adalah racun yang tertinggal pada tanaman setelah penyemprotan yang akan bertahan sebagai racun sampai batas tertentu. Residu yang bertahan lama pada tanaman akan berbahaya bagi kesehatan manusia.

e. Persistensi

Persistensi adalah kemampuan pestisida bertahan dalam bentuk racun di dalam tanah. Pestisida yang mempunyai persistensi tinggi sangat berbahaya karena dapat meracuni lingkungan.

f. Resistensi

Resistensi merupakan kekebalan organisme pengganggu terhadap aplikasi suatu jenis pestisida. Jenis pestisida yang mudah menyebabkan resistensi organisme pengganggu sebaiknya tidak digunakan.

g. LD<sub>50</sub> (*lethal dosage 50%*)

LD<sub>50</sub> merupakan besarnya dosis yang mematikan 50% dari jumlah hewan percobaan.

h. Kompatibilitas

Kompatibilitas adalah kesesuaian suatu jenis pestisida untuk dicampur dengan pestisida lain tanpa menimbulkan dampak negatif. Informasi tentang jenis pestisida yang dapat dicampur dengan pestisida tertentu biasanya terdapat pada label di kemasan pestisida.

Efektivitas pemakaian pestisida ditentukan oleh :

a. Pemilihan jenis pestisida yang tepat

Pemilihan jenis pestisida yang cocok dan efektif digunakan tergantung dari jenis organisme pengganggu yang sedang berjangkit, jenis tanaman yang terserang, harga pestisida, spektrum pestisida, dan kekebalan organisme terhadap pestisida (Sudarmo, 1992).

b. Dosis, konsentrasi, dan volume semprot yang tepat

Dosis konsentrasi dan volume semprot adalah istilah dalam aplikasi pestisida yang harus diketahui. Disarankan untuk menggunakan konsentrasi dan dosis terkecil lebih dahulu (Wudianto, 2010).

c. Cara dan waktu aplikasi yang tepat

Cara pengendalian organisme pengganggu untuk setiap jenis pestisida (fungisida, insektisida dan herbisida) sangat bervariasi begitu juga dengan formulasinya. Oleh sebab itu sebelum menggunakan pestisida, harus dipilih jenis dan merek dagang pestisida yang sesuai dengan hama dan penyakit tanaman, formulasi yang sesuai dengan peralatan yang tersedia dan bagaimana menggunakan pestisida secara efektif dan efisien (Wudianto, 2010). Waktu aplikasi adalah pilihan rentang waktu yang tepat untuk mengaplikasikan pestisida yaitu pada saat organisme pengganggu tanaman berada pada stadium paling peka terhadap pestisida. Aplikasi pada waktu yang tepat juga seringkali lebih murah dan lebih aman (Djojsumarto, 2008).

### **2.3 Residu Pestisida**

Residu pestisida adalah zat tertentu yang terkandung dalam hasil pertanian, bahan pangan, atau pakan hewan, baik sebagai akibat langsung maupun tidak langsung dari penggunaan pestisida (Kelompok Kerja Penyusunan Revisi Metode Analisis Residu Pestisida pada Hasil Pertanian, 2004).

### 2.3.1 Batas Maksimum Residu (BMR) Pestisida

Hasil pertanian yang beredar di Indonesia baik yang berasal dari dalam negeri maupun luar negeri tidak boleh mengandung residu pestisida melebihi Batas Maksimum Residu (BMR). BMR didefinisikan sebagai konsentrasi maksimum residu pestisida yang secara hukum diizinkan atau diketahui sebagai konsentrasi yang dapat diterima pada hasil pertanian, bahan pangan, atau bahan pakan hewan. Konsentrasi tersebut dinyatakan dalam miligram residu pestisida per kilogram (Kelompok Kerja Penyusunan Revisi Metode Analisis Residu Pestisida pada Hasil Pertanian, 2004).

Setiap negara memiliki kebijakan pertanian mengenai batas residu maksimum. BMR yang diizinkan bervariasi di setiap negara tergantung pada wilayah dan kondisi iklim serta geografis. Batas residu maksimum internasional telah dikeluarkan oleh FAO dan WHO di tahun 1963 mengenai pengembangan standar pangan internasional, kode panduan penerapan, dan rekomendasi untuk keamanan pangan. Standar internasional yang berkaitan dengan pangan yang merupakan hasil rumusan dari *Codex Alimentarius Commission* (CAC). CAC adalah badan antar pemerintah yang dibentuk oleh FAO dan WHO (*Joint FAO/WHO Food Standards Programme*). Codex dibentuk dengan tujuan antara lain untuk melindungi kesehatan konsumen, menjamin praktek yang jujur dalam perdagangan pangan internasional serta mempromosikan koordinasi pekerjaan standardisasi pangan yang dilakukan oleh organisasi internasional lain (Menteri Kelautan dan Perikanan, 2012). Batas Maksimum Residu Pestisida berdasarkan SNI 7313:2008 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Batas Maksimum Residu (BMR) pestisida pada cabai, sawi, dan tomat

No.	Jenis Pestisida	Batas Maksimum Residu Pestisida (ppm)		
		Cabai	Sawi	Tomat
1	Organoklor			
	• Endosulfan	2	2	0,5
	• Alfasipometrin	-	-	-
	• Aldrin	-	-	-
2	Organofosfat			
	• Profenofos	2	1	2
	• Diazinon	0,5	0,5	0,5
	• Dimetoat	-	-	1
	• Fention	-	-	0,5
	• Klorpirifos	2	-	0,5
3	Karbamat			
	• Mankozeb	-	-	0,2

Sumber: SNI 7313:2008

### 2.3.2 Residu pestisida di lingkungan

Residu pestisida dapat tersimpan di dalam tanah selama bertahun-tahun dan dapat merusak komposisi mikroba tanah, serta mengganggu ekosistem perairan. Residu pestisida dapat tercuci dari tanah melalui air permukaan tanah (erosi) sehingga berpindah ke lokasi lain disekitarnya. Residu pestisida pada tanaman dapat masuk ke jaringan tanaman atau permukaan tanaman. Beberapa jenis pestisida lipofilik cenderung terakumulasi pada lapisan lilin dan lemak tanaman di bagian kulit. Pestisida masuk ke dalam jaringan tanaman melalui proses adsorpsi tanaman dan di dalam jaringan tanaman pestisida menyebar melalui proses translokasi dan metabolisme tanaman (Norris, 1974).



### **2.3.3 Degradasi residu pestisida di lingkungan**

Proses degradasi residu pestisida adalah proses penguraian pestisida setelah digunakan melalui proses mikroba, reaksi kimia, dan sinar matahari. Residu pestisida dapat terurai melalui pencucian, penguapan, pelapukan, degradasi enzimatis, dan translokasi. Pestisida dapat berpindah ke lokasi lain pada permukaan tanah akibat erosi, aliran air, sungai, laut, dan hembusan angin. Lamanya proses degradasi residu pestisida tergantung pada kondisi lingkungan dan sifat-sifat kimia pestisida (Manuaba, 2009). Jumlah residu pestisida pada tanaman tergantung pada cara, waktu, frekuensi aplikasi, dan dosis. Hasil penelitian Dibyantoro (1979) menyebutkan bahwa semakin dekat waktu penggunaan pestisida dengan masa panen akan menyebabkan peningkatan jumlah residu pestisida pada tanaman.

## **2.4 Arthropoda Tanah**

Pada permukaan tanah terdapat banyak makhluk hidup yang sebagian besar dihuni oleh jenis-jenis arthropoda. Hewan ini umumnya menggunakan sumber daya yang ada dipermukaan untuk melangsungkan aktivitas kehidupannya. Arthropoda tanah cepat bereaksi akibat pengolahan tanah.

Arthropoda merupakan filum terbesar dari animal kingdom. Karena arthropoda merupakan filum yang terbesar maka mereka terdapat dimana-mana, baik itu di hutan, dataran rendah maupun dataran tinggi. Secara literal arthropoda berarti kaki yang beruas-ruas. Semua anggota dari kelompok ini mempunyai bagian tubuh yang beruas-ruas, tidak hanya pada kakinya (Borror *et al.*, 1992).

Arthropoda yang hidup di tanah disebut arthropoda tanah. Arthropoda tanah dapat dikelompokkan berdasarkan fungsinya di dalam tanah sebagai penghancur, predator, herbivor, dan pemakan fungi (Moldenke, 2001).

a. Penghancur

Beberapa arthropoda besar di atas permukaan tanah biasanya sebagai penghancur. Mereka mengunyah bahan-bahan tumbuhan yang telah mati, sekaligus juga memakan bakteri dan fungi yang menempel di permukaan tanaman. Jenis yang paling melimpah pada kelompok ini adalah lipan, kutu, rayap, dan tungau. Dalam tanah pertanian, kelompok arthropoda ini dapat menjadi hama karena memakan akar tanaman yang masih hidup jika bahan-bahan makanan yang telah mati kurang mencukupi (Moldenke, 2001).

b. Predator dan parasit

Beberapa arthropoda tanah adalah predator dan parasit. Predator dan mikropredator disebut generalis, yaitu memakan beberapa tipe mangsa yang berbeda atau hanya berburu satu tipe mangsa. Predator meliputi kelabang, laba-laba, kumbang tanah, kalajengking, laba-laba serigala, pseudoscorpion, semut, dan tungau. Beberapa predator memakan hama tanaman diantaranya kumbang dan tawon parasit telah dikembangkan untuk biokontrol komersial (Moldenke, 2001).

c. Herbivora

Beberapa arthropoda yang menghabiskan hidupnya di dalam tanah seperti kumbang, symphylans, *cicadas*, *mole-crickets*, dan lalat *centhomyiid* adalah herbivora dan dapat menjadi hama tanaman. Jumlah herbivora ini cukup besar

dan menyebabkan kerusakan pada akar atau bagian tanaman lainnya (Moldenke, 2001).

d. Pemakan fungi

Beberapa arthropoda seperti springtail, tungau, *silverfish* memakan fungi dan juga beberapa jenis bakteri. Mereka menggaruk dan memakan bakteri dan fungi yang ada di permukaan akar. Sejumlah besar fraksi nutrient bagi tumbuhan dihasilkan oleh fauna pemakan mikroba ini (Moldenke, 2001).

Peranan serangga dalam kehidupan manusia ada yang menguntungkan dan merugikan. Peranan serangga yang menguntungkan adalah penyerbukan tanaman, penghasil produk, bersifat entomofagos (predator dan parasitoid), pemakan bahan organik, pemakan gulma, sebagai bahan penelitian. Sedangkan peranan serangga yang merugikan adalah perusak tanaman, perusak produk dalam simpanan, sebagai faktor penyakit bagi tanaman, hewan maupun manusia (Jumar, 2000).

Arthropoda umumnya hidup di serasah-serasah sebagai tempat hidup dan sumber makanannya. Sisa-sisa tumbuhan membentuk bahan organik tanah yang bila terurai seluruhnya akan menjadi humus. Kondisi seperti ini tentunya dapat menyuburkan tanah dan baik untuk tanaman.

Keanekaragaman adalah suatu keadaan makhluk hidup yang bermacam-macam. Keanekaragaman dapat dilihat dari perbedaan bentuk, ukuran, struktur, warna, fungsi, organ, dan habitatnya. Keanekaragaman makhluk hidup diantara individu sejenis disebut variasi. Lingkungan yang berperan penting dalam penganekaragaman makhluk hidup karena harus menyesuaikan diri dengan

lingkungannya agar tetap hidup. Karena jumlah individu serta keanekaragamannya begitu besar, maka untuk mengenal dan mempelajari setiap individu perlu diklasifikasikan.

Keanekaragaman jenis yang tinggi menunjukkan komunitas memiliki kompleksitas tinggi. Hal ini karena dalam komunitas terjadi interaksi jenis yang tinggi. Odum (1998) dan Fachrul (2007) mengatakan bahwa keanekaragaman identik dengan kestabilan suatu ekosistem. Jika keanekaragaman suatu ekosistem tinggi, maka kondisi ekosistem tersebut cenderung stabil. Jumlah spesies dalam komunitas adalah penting dari segi ekologi, karena keanekaragaman jenis akan bertambah bila komunitas menjadi stabil. Gangguan parah menyebabkan penurunan yang nyata dalam keanekaragaman. Keanekaragaman yang besar juga mencirikan corak (Michael, 1994).

Keanekaragaman cenderung menjadi tinggi di dalam komunitas yang lebih tua dan menjadi rendah dalam komunitas yang baru terbentuk. Produktivitas atau arus energi seluruhnya mempengaruhi keanekaragaman jenis (Odum, 1998). Hewan dapat hidup di lingkungan yang dapat menyediakan berbagai keperluan untuk kelangsungan daur hidupnya. Menurut Curry (1998) dan Lee (1991); Samudra *et al.* (2013) frekuensi pengolahan lahan dan penggunaan bahan kimia berdampak besar terhadap kelimpahan dan keanekaragaman organisme tanah. Aktivitas pertanian berdampak positif dan negatif dalam kelimpahan, keanekaragaman, dan aktivitas fauna tanah (Hendrix dan Edward, 2004).

Dampak negatif penggunaan pestisida dapat menurunkan kelimpahan arthropoda permukaan tanah. Hasil penelitian Winasa dan Rauf (2005)

menunjukkan aplikasi deltametrin pada sawah menurunkan kelimpahan arthropoda permukaan tanah dari famili *lycosidae*, *lyniphidae*, *carabidae* dan *formicidae*. Penggunaan pestisida kimia dapat menurunkan kelimpahan dan keanekaragaman arthropoda tanah pada lahan pertanian di Nigeria (Desmond *et al.*, 2013). Aplikasi insektisida sintetik dapat menurunkan keanekaragaman dan kelimpahan arthropoda predator yang aktif di permukaan tanah (Herlinda *et al.*, 2008). Menurut Shelton *et al.* (1983), penggunaan pestisida dapat menurunkan predator yang ada di permukaan tanah.

Penggunaan pestisida golongan organofosfat, karbamat dan piretroid pada budidaya bawang merah dengan intensitas yang tinggi yaitu 20-22 kali untuk satu musim dapat menurunkan populasi ordo *hymenoptera*, *collembola*, dan *diplura* (Asmita, 2010). Keanekaragaman arthropoda tanah pada lahan sayuran organik tergolong sedang, sedangkan keanekaragaman arthropoda tanah pada lahan pertanian sayuran yang intensif tergolong rendah (Samudra *et al.*, 2013). Pengaruh pertanian intensif pada arthropoda akan menyebabkan *fast cycle*, hal ini menyebabkan berkurangnya keberagaman serta pertumbuhan mikroorganisme yang cepat sehingga organisme akan cenderung dominan dan berpotensi menjadi hama (Bardgett and Cook, 1998).