

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Pestisida

##### 2.1.1. Definisi

*World Health Organization* mendefinisikan pestisida sebagai

*“Any substance or mixture substances intended for preventing or controlling any unwanted species of plants and animals and also includes any substances or mixture substances intended for use as a plant-growth regulator, defoliant or dessicant.”* (IPCS, 1975)

Sementara itu, *Federal Insecticide Fungicide and Rodenticide Act*, menyatakan pestisida sebagai

*“(1) any substance or mixture substance intended for preventing, destroying, repelling, or mitigating any pest (insect, rodent, nematode, fungus, weed, other forms of tersetrial or aquatic plant or animal life or viruses, bacteria, or other microorganism, except viruses, bacteria, or other microorganisms or or in living man or other animals, which the Administrator declares to be a pest and (2) any substance or mixture of substances intended for use as a plant regulator, defoliant or desiccant.”* (Hayes and Laws, 1991)

Dan *Food and Agriculture Organization of United Nations* (1986) mendefinisikan pestisida sebagai

*“Any substance or mixture substances intended for preventing, destroying, or controlling any pest, including vectors of human or animal disease, unwanted species of plants or animals causing harm during, or otherwise interfering with, the production, processing, storage, transport, or marketing of food, agriculture commodities, wood and wood products, or animal feedstuffs, or which may be administrated to animals for the control of insect, arachnids, or other pests in or on their bodies. The term includes substances intended for use as a plant-growth regulator, defoliant, desiccant, fruit-thinning agent, or an agent for preventing the premature fall of fruit, and substances applied to*

*crops either before or after harvest to prevent deterioration during storage or transport.”(WHO, 1989)*

Atau dengan kata lain, pestisida merupakan agen kimiawi dan bahan-bahan lain serta jasad renik dan virus yang didisain dan dikembangkan untuk menjadi zat yang bersifat toksik pada suatu organisme hidup yang spesifik pada dosis tertentu.

Jika dilihat dari asal katanya, pestisida atau *pesticide* berasal dari *pest* yang berarti hama dan *cide* yang berarti mematikan / racun. Jadi pestisida adalah racun hama. Secara umum pestisida dapat didefinisikan sebagai bahan yang digunakan untuk mengendalikan populasi jasad yang dianggap sebagai pest yang secara langsung maupun tidak langsung merugikan kepentingan manusia (Munaf, 1997).

Pestisida merupakan semua zat kimia dan bahan lain serta jasad renik dan virus yang dipergunakan untuk memberantas atau mencegah hama dan penyakit yang merusak tanaman, bagian-bagian tanaman atau hasil-hasil pertanian, memberantas rerumputan, mematikan daun dan mencegah pertumbuhan yang tidak diinginkan, mengatur atau merangsang pertumbuhan tanaman atau bagian-bagian tanaman (tidak termasuk pupuk), memberantas atau mencegah hama-hama luar pada hewan-hewan piaraan dan ternak, memberantas atau mencegah hama-hama air, memberantas atau mencegah binatang-binatang dan jasad-jasad renik dalam rumah tangga, bangunan, dan dalam alat-alat pengangkutan, dan memberantas atau mencegah binatang-binatang yang dapat menyebabkan penyakit pada manusia atau binatang yang perlu dilindungi dengan penggunaan pada tanaman, tanah, atau air. Bidang penggunaan pestisida meliputi pengelolaan tumbuhan, peternakan, penyimpanan hasil pertanian, pengawetan hasil hutan, pengendalian vektor penyakit manusia, pengendalian rayap, pestisida rumah tangga, fumigasi, dan pestisida industri lainnya seperti cat, anti pencemaran dan bidang lainnya (Keputusan Menteri Pertanian No.434.1/Kpts.270/7/2001) .

Menurut The United States Federal Environmental Pesticide Control Act, pestisida adalah semua zat atau campuran zat yang khusus untuk memberantas atau mencegah gangguan serangga, binatang pengerat, nematoda, bakteri atau jasad renik yang dianggap hama kecuali virus, bakteri atau jasad renik yang terdapat pada manusia dan binatang lainnya. Atau semua zat atau campuran zat

yang digunakan sebagai pengatur pertumbuhan tanaman atau pengering tanaman (Sudarmo, 1991).

Pestisida kesehatan masyarakat adalah pestisida yang digunakan untuk pemberantasan vektor penyakit menular (serangga, tikus) atau untuk pengendalian hama di rumah-rumah, pekarangan, tempat kerja, tempat umum lain, termasuk sarana angkutan dan tempat penyimpanan/pegudangan. Pestisida terbatas adalah pestisida yang karena sifatnya (fisik dan kimia) dan atau karena daya racunnya, dinilai sangat berbahaya bagi kehidupan manusia dan lingkungan, oleh karenanya hanya diizinkan untuk diedarkan disimpan dan digunakan secara terbatas (Depkes, 2004).

### 2.1.2. Sumber, Jenis, dan Karakteristik

Pestisida telah digunakan secara luas. Pestisida dapat bersumber dari kegiatan pertanian, peternakan, rumah tangga, hingga industri. Pestisida dapat digolongkan ke dalam berbagai jenis berdasarkan kriteria tertentu, yaitu berdasarkan organisme pengganggu tanaman (OPT) sasarannya, asal zat atau senyawa kimia yang menyusunnya, cara kerjanya, berdasarkan penggolongan (tingkat) bahayanya, jasad sasarannya, dan menurut bentuk formulasinya. Berbagai jenis pestisida berdasarkan OPT sasarannya dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1 Klasifikasi Pestisida, Kegunaan, dan Asal Katanya**

Kelas pestisida	Kegunaan	Asal kata
Akarisida	Membunuh kutu	<i>Akari</i> , kutu, atau tungau
Algisida	Membunuh ganggang	<i>Alga</i> , ganggang
Avisida	Membunuh atau mengenyahkan burung	<i>Avis</i> , burung
Bakterisida	Membunuh bakteri	<i>Bacterium</i> , jasad renik
Fungisida	Membunuh jamur	<i>Fungus</i> , jamur
Herbisida	Membunuh gulma	<i>Herba</i> , tumbuhan semusim
Insektisida	Membunuh serangga	<i>Insectum</i> , hewan berbuku
Larvisida	Membunuh larva	<i>Lar</i> , topeng atau hantu
Mitisida	Membunuh kutu	Sama dengan Arkasida
Mluskisida	Membunuh bekicot atau kerang	<i>Molluscus</i> , kerang lunak atau
Nematisida	Membunuh cacing	berkulit tipis
Visida	Membunuh telur	<i>Nematoda</i> , benang

Piscicida	Membunuh ikan	<i>Ovum</i> , telur
Predisida	Membunuh predator	<i>Piscis</i> , ikan
Rodentisida	Membunuh rden	<i>Praeda</i> , predator
Silvisida	Membunuh pohon	<i>Rodere</i>
Termitisida	Membunuh rayap	<i>Silva</i> , hutan
Atraktans	Memikat serangga	<i>Terns</i> , cacing perusak kayu
Khemsterilan	Memandulkan serangga, burung, atau roden	
Defolian	Peluruh daun	
Desikan	Mempercepat pengeringan pada tumbuhan	
Zat pengatur tumbuh	Mempercepat atau menghambat pertumbuhan pada serangga atau tetumbuhan	
Feromon	Memikat serangga atau vertebrata	
Repelan	Mengenyahkan serangga, kutu, tungau, anjing, burung, kelinci, dan lain-lain	

Pestisida: Dasar-Dasar dan Dampak Penggunaannya.1992

Dari semua golongan pestisida yang disajikan pada Tabel 2.1, yang paling banyak digunakan dalam jumlah yang cukup besar untuk meningkatkan hasil produksi pertanian ialah herbisida, insektisida, dan fungisida.

### 2.1.3. Jalur Masuk ke dalam Tubuh

Jalur masuk atau portal entri adalah pintu masuknya xenobiotik ke dalam tubuh organisme. Xenobiotik diartikan sebagai bahan asing bagi tubuh organisme, yang antara lain adalah racun (Soemirat, 2003). Kelompok populasi yang berbeda terpajan pestisida melalui jalur pajanan yang berbeda dalam tingkat yang berbeda. Beberapa pajanan terjadi secara sengaja (bunuh diri dan pembunuhan) dan beberapa terjadi secara tidak sengaja (WHO, 1990). Pestisida dapat masuk ke dalam tubuh melalui kulit (dermal), pernafasan (inhalasi), atau mulut (oral), masing-masing jalur pajanan tersebut dapat diuraikan sebagai berikut.

- Melalui Mulut / Oral (Ingesti)

Portal entri oral adalah mulut dan masuk ke dalam saluran pencernaan. Portal entri ini sering dan mudah terjadi namun bahan asing yang masuk tidak akan mudah mencapai peredaran darah karena beberapa hal penting yang terkait pada fungsi saluran gastro-intestinal. Di mulut xenobiotik bercampur dengan

ludah yang mengandung enzim, di dalam lambung xenobiotik yang tidak tahan asam akan dihancurkan oleh asam lambung, di usus halus akan bertemu dengan enzim usus halus yang bersifat basa sehingga xenobiotik asam akan ternetralisir, dan seterusnya hingga terbuang melalui usus besar. Proses absorpsi terjadi melalui mukosa usus, yang selanjutnya mengalir mengikuti sistem sirkulasi darah (Suwindere, 1993).

Pestisida yang masuk melalui oral sebagian besar akibat kecerobohan, seperti meninggalkan pestisida dalam jangkauan anak-anak, merokok atau makan tanpa mencuci tangan setelah menggunakan pestisida, menggunakan mulut untuk mengalirkan pestisida cair yang tersumbat, memakan buah yang tidak dicuci yang sebelumnya telah disemprot pestisida, atau secara tidak sengaja meminum pestisida yang tertuang dalam wadah tak berlabel. (Nadakavukaren, 1990)

- Melalui kulit (Absorpsi)

Pajanan pestisida melalui kulit dapat terjadi ketika pestisida tumpah mengenai kulit atau ketika menyemprot partikel pestisida terbawa angin hingga menempri ke kulit. Kembali memasuki lahan pertanian terlalu cepat setelah aplikasi atau kecerobohan saat membuang container juga dapat mengakibatkan absorpsi pestisida melalui kulit. Semakin luas area kulit yang terkena dan semakin lama durasi kontak maka semakin serius dampak yang akan terjadi. Pajanan melalui absorpsi dermal dapat dikurangi secara signifikan dengan penggunaan pakaian pelindung. Namun kenyataannya di lapangan, penggunaannya sering diabaikan, atau dianggap terlalu mahal dan tidak nyaman digunakan, terutama pada cuaca panas (Nadakavukaren, 1990).

Toksitas melalui kulit (*acute dermal toxicity*) dapat terjadi jika pestisida mengenai kulit dan akhirnya dapat masuk ke dalam tubuh. Pestisida yang diabsorpsi kulit dapat menembus epidermis, kemudian memasuki kapiler darah dalam kulit, sehingga terbawa sampai ke paru-paru dan organ vital lainnya seperti otak dan otot (Suwindere, 1993).

Pestisida akan segera diabsorpsi jika kontak melalui kulit atau mata. Absorpsi ini akan terus berlangsung selama pestisida masih ada pada kulit. Kecepatan absorpsi berbeda pada tiap bagian tubuh. Perpindahan residu pestisida

dari suatu bagian tubuh ke bagian lain sangat mudah. Jika hal ini terjadi maka akan menambah potensi keracunan. Residu dapat berpindah dari tangan ke dahi yang berkeriat atau daerah genital. Pada daerah ini kecepatan absorpsi sangat tinggi sehingga dapat lebih berbahaya daripada tertelan (Raini, 2007).

- **Pernafasan (Inhalasi)**

Udara dapat dengan mudah terkontaminasi pestisida selama penyemprotan. Penguapan dari percikan selama menyemprot dari formulasi yang teremulsi dapat menghasilkan bentuk partikel halus yang dapat terbawa udara sampai jarak yang jauh. Di daerah tropis, sekitar 90% insektisida golongan organoklorin di tanah akan menghilang dalam satu tahun. Pestisida golongan lain dapat menguap lebih cepat lagi, terutama bila diaplikasikan dengan cara menyemprot. Akan tetapi, bukti mengenai efek yang serius akibat pajanan melalui udara terhadap kesehatan manusia masih sangat sedikit (WHO, 1990).

Tujuh puluh lima persen (75%) aplikasi pestisida dilakukan dengan cara disemprotkan, sehingga memungkinkan butir-butir cairan tersebut melayang, menyimpang dari aplikasi. Jarak yang ditempuh oleh butiran-butiran cairan tersebut tergantung pada ukuran butiran. Butiran dengan radius kecil dari satu micron, dapat dianggap sebagai gas yang kecepatan mengendapnya tak terhingga, sedang butiran dengan radius yang lebih besar akan lebih cepat mengendap (Sudarmo, 1991).

#### **2.1.4. Efek terhadap Kesehatan dan Lingkungan**

Bagaimanapun amannya, pestisida adalah racun yaitu bahan kimia yang dibuat untuk membunuh hama, berarti mempunyai toksisitas yang sangat bervariasi dari satu jenis ke jenis lainnya. Jadi risiko pestisida terhadap lingkungan hidup tetap ada dan perlu diperhatikan. Beberapa dampak negatif akibat pemakaian pestisida yang disebutkan oleh Susilo (2001) adalah:

- **Keracunan terhadap pemakai dan pekerja**

Sebagai bahan racun, pestisida baik secara langsung maupun tidak akan membahayakan bagi manusia (baik petani yang melakukan penyemprotan,

maupun orang lain di sekitarnya). Tingkat bahaya pestisida dinyatakan dalam toksisitasnya. Toksisitas didefinisikan sebagai LD<sub>50</sub> yang dinyatakan dalam mg senyawa pestisida per kilogram berat badan, dalam perkataan lain dosis yang dapat membunuh 50% persen dari jumlah hewan percobaan yang digunakan pada kondisi laboratorium. LD<sub>50</sub> dapat dinyatakan dengan oral (melalui mulut atau diletakan dalam perut tikus), melalui kulit (digunakan terhadap kulit tikus atau kelinci), dan melalui pernapasan. Besarnya konsentrasi (dosis) merupakan faktor yang sangat penting di dalam menentukan bahaya atau tidaknya suatu jenis pestisida / bahan kimia. Di samping toksisitas, variabel lainnya yang cukup penting ialah dosis, lamanya terkena pestisida, dan caranya masuk ke dalam badan. Jumlah pestisida yang dibutuhkan untuk membunuh manusia dapat dihubungkan dengan LD<sub>50</sub> dari senyawa kimia terhadap tikus di laboratorium (Sastroutomo, 1992).

**Tabel 2.2 Kelas Toksisitas Pestisida pada Hewan dan Manusia**

Kelas	LD <sub>50</sub> pada tikus (mg/kg berat badan)				
	Oral		Dermal		
	Padat	Cair	Padat	Cair	
Ia	Extremely hazardous	≤ 5	≤ 20	≤ 10	≤ 40
Ib	Highly hazardous	5 – 50	20 – 200	10 – 100	40 – 400
II	Moderately hazardous	50 – 500	200 – 2000	100 – 1000	400 – 4000
III	Slightly hazardous	> 500	> 2000	> 1000	> 4000

The WHO Recommended Classification of Pesticides by Hazard, 2005

Pada Tabel 2.2, LD<sub>50</sub> akut melalui mulut yang dinyatakan sebagai mg/kg dosis bahan teknis kemudian menjadi jumlah bahan yang dibutuhkan untuk membunuh manusia dengan berat badan sekitar 78 kg. LD<sub>50</sub> melalui kulit juga disajikan untuk lebih memahami toksisitas hewan yang kemudian diubah menjadi toksisitas manusia. Secara umum, penelanan senyawa pestisida melalui mulut adalah lebih toksik jika dibandingkan dengan yang melalui pernapasan, sedangkan yang melalui pernapasan lebih toksik daripada yang melalui kulit. Meskipun demikian pekerja-pekerja lapangan yang menggunakan pestisida lebih banyak yang mempunyai keluhan keracunan akibat pestisida yang berhubungan langsung dengan kulit. Sebagai akibatnya, informasi mengenai toksisitas melalui kulit atau LD<sub>50</sub> kulit lebih mempunyai arti di dalam menentukan tingkat racun suatu pestisida terhadap pekerja daripada LD<sub>50</sub> melalui mulut (Sastroutomo, 1992).

- **Timbulnya resistensi hama terhadap pestisida**

Resistensi hama muncul apabila suatu jenis hama yang mula-mula dapat terbunuh oleh suatu dosis insektisida kemudian menjadi kebal oleh dosis tersebut. Untuk dapat mematikan hama tersebut dibutuhkan konsentrasi atau dosis insektisida yang lebih tinggi. Resistensi terhadap insektisida terjadi melalui seleksi alami yang dipercepat, sehingga menimbulkan populasi baru yang mempunyai gen-gen resisten.

- **Kenaikan populasi jasad pengganggu (resurgensi)**

Sifat resurgensi hama muncul apabila hama telah mengalami perlakuan pestisida, populasinya tidak menurun, tetapi sebaliknya menjadi meningkat jika dibandingkan populasi sebelum diadakan penyemprotan insektisida. Banyak laporan dan hasil penelitian yang menjelaskan terjadinya resurgensi hama.

- **Letusan hama sekunder**

Aplikasi pestisida yang ditujukan untuk mengendalikan jenis hama tertentu malah mengakibatkan munculnya jenis hama lain. Hal ini karena insektisida yang digunakan di bidang pertanian memiliki sifat berspektrum luas (*broad spectrum*) yang berarti akan dapat mematikan tidak saja hama sasaran melainkan organisme lainnya termasuk musuh alami (predator, parasitoid, dan patogen).

- **Residu pestisida pada lingkungan**

Residu pestisida telah mulai ada di lingkungan mulai dari makanan (sayuran, beras, buah-buahan, dan lain-lain), air minum, air sungai, laut, dalam tanah, hingga udara. Khususnya pada tanaan pertanian adanya residu yang tinggal disebabkan karena aplikasi pestisida selama kegiatan usahatannya. Besarnya residu insektisida yang tertinggal pada tanaman budidaya tergantung pada dosis, frekuensi, selang waktu aplikasi, faktor lingkungan fisik yang mempengaruhi dekomposisi dan pengurangan residu, jenis tanaman yang diperlakukan, formulasi insektisida dan cara aplikasinya, jenis bahan aktif dan persistensinya serta saat aplikasi terakhir sebelum hasil tanaman tersebut dipanen.



### **2.1.5. Cara Aplikasi Pestisida dengan Penyemprotan**

Keberhasilan pestisida dalam mematikan jasad pengganggu tidak hanya ditentukan oleh jenis pestisida, dosis, dan konsentrasi saja. Namun juga ditentukan oleh bagaimana cara aplikasi pestisida tersebut. Sebab setiap formulasi pestisida berbeda cara aplikasinya. Cara yang paling sering digunakan adalah cara semprotan. Alat yang diperlukan adalah penyemprot atau sprayer. Sebelum disemprotkan formulasi ini dicampur dulu dengan air. Pengenceran disesuaikan dengan konsentrasi atau dosis yang disarankan dalam kemasan. Apabila ingin dicampur dengan bahan lain, misalnya surfaktan, perhatikan petunjuk dalam label. Biasanya dalam label dituliskan bisa dicampur dengan bahan lain (Wudianto, 1997).

Sewaktu mempersiapkan pestisida yang akan disemprotkan, pilihlah tempat yang sirkulasi udaranya lancar. Di tempat tertutup, pestisida yang berdaya racun tinggi terlebih yang mudah mebuap, dapat mengakibatkan keracunan melalui pernapasan. Bahkan bisa mengakibatkan kebakaran. Selain itu jangan biarkan anak-anak berada di sekitar lokasi ini. Buka tutup kemasan dengan hati-hati agar pestisida tidak berhamburan atau memercik mengenai bagian tubuh. Setelah itu tuang dalam gelas ukur, timbangan, atau alat pengukur lain dalam drum atau ember khusus. Bukan wadah yang biasa untuk keperluan makan, minum, dan mencuci. Tambahkan air lagi sesuai dosis dan konsentrasi yang dianjurkan. Untuk pencampuran pestisida janganlah dalam tangki penyemprot karena sudah dipastikan apakah pestisida dan air telah tercampur sempurna atau belum. Campuran yang kurang sempurna akan mengurangi keefektifannya (Wudianto, 1997).

Dalam melakukan penyemprotan perhatikan hal-hal berikut.

- Pilih volume alat semprot sesuai dengan luas areal yang akan disemprot. Alat semprot bervolume kecil untuk areal yang luas, tentu kurang tepat karena pekerja harus sering mengisinya.
- Alat-alat yang digunakan mestilah berada dalam keadaan baik. Pastikan tangki penyemprot tidak bocor.

- Gunakanlah pakaian yang sesuai ketika melakukan penyemprotan pestisida. Pakaian berfungsi sebagai pengaman yang berupa baju berlengan panjang, sepatu karet / boot, kaos tangan, penutup mulut atau masker, dan penutup muka.
- Penyemprotan yang tepat untuk golongan serangga sebaiknya saat stadium larva dan nimfa, atau saat masih berupa telur. Serangga dalam stadium pupa dan imago umumnya kurang peka terhadap racun insektisida.
- Waktu yang paling baik untuk penyemprotan adalah pada waktu terjadi aliran udara naik (thermik) yaitu antara pukul 08.00 – 11.00 atau sore hari pukul 15.00 – 18.00 WIB. Penyemprotan terlalu pagi atau terlalu sore akan mengakibatkan pestisida yang menempel pada bagian tanaman akan terlalu lama mengering dan mengakibatkan tanaman yang disemprot keracunan. Selain itu, penyemprotan yang terlalu pagi biasanya daun masih berembun sehingga pestisida yang disemprotkan tidak bisa merata ke seluruh permukaan daun. Sedangkan penyemprotan yang dilakukan saat matahari terik akan mengakibatkan pestisida mudah menguap dan mengurai oleh sinar ultra violet.
- Jangan melakukan penyemprotan di saat angin kencang karena banyak pestisida yang tidak mengenai sasaran. Juga jangan menyemprot melawan arah angin, karena cairan semprot bisa mengenai orang yang menyemprot.
- Penyemprotan yang dilakukan saat hujan turun akan membuang tenaga dan biaya sia-sia.
- Jangan makan dan minum atau merokok pada saat melakukan penyemprotan dan pencampuran.
- Gunakan air untuk mengkalibrasi alat semprot.
- Jauhkan pestisida dari bagian mulut, hidung, dan mata. Jangan sekali-kali meniup nosel yang tersumbat dengan mulut. Perhatikan dengan teliti waktu penyemprotan dan waktu panen sehingga tidak terjadi adanya pestisida yang masih tertinggal dalam buah atau sayur yang dapat meracuni konsumen. Ini sangat penting dan harus mendapatkan

perhatian yang utama khususnya jika menyemprot fungisida atau insektisida pada sayur-sayuran dan buah-buahan.

- Pastikan bahwa dosis yang digunakan tidaklah melebihi dosis yang dianjurkan. Dilarang menyemprot jika angin sedang bertiup kencang karena semprotan akan terbawa ke daerah yang bukan sasaran.
- Alat-alat yang akan digunakan hendaklah dicuci dengan bersih segera setelah selesai digunakan. Jika memungkinkan, alat-alat yang digunakan untuk menyemprot herbisida berbeda dengan yang digunakan untuk insektisida dan fungisida. Air bekas cucian sebaiknya dibuang ke lokasi yang jauh dari sumber air sugai.
- Penyemprot segera mandi dengan bersih menggunakan sabun dan pakaian yang digunakan segera dicuci.
- Semua catatan tentang penggunaan pestisida perlu disimpan dengan baik. Catatan ini sangat penting artinya dan dapat digunakan sebagai petunjuk kerja-kerja penyemprotan di waktu-waktu mendatang.
- Sekiranya terdapat tanda-tanda keracunan sewaktu atau selepas menyemprot, sebaiknya segera pergi ke klinik terdekat untuk memeriksakan diri.

## **2.2. Insektisida**

### **2.2.1. Definisi**

Insektisida berasal dari bahasa latin *insectum* yang mempunyai arti potongan, keratin, atau segmen tubuh, seperti kita lihat pada bagian tubuh serangga (Soemirat, 2003). Insektisida adalah bahan yang mengandung senyawa kimia beracun yang bisa mematikan semua jenis serangga. Serangga adalah binatang yang 26% spesiesnya merugikan manusia karena herbivore atau fitofak, sedang sebagian lainnya merugikan manusia karena menyebarkan penyakit pada manusia dan binatang ternak. Walau demikian ada pula serangga yang sangat penting misalnya serangga penyerbuk (polinator), pengurai (decomposer), predator dan parasitoid pada serangga lain, penghasil bahan berguna (lebah madu), dan sebagainya. Ukurannya sangat beragam. Ada yang besarnya kurang dari 0,25 mm, tetapi ada juga yang bisa mencapai 25 cm. secara umum tubuh serangga terdiri

atas kepala, dada, dan perut. Pada dadanya ini terdapat 6 ruas kaki yang dapat bergerak. Serangga menyerang tanaman atau ternak untuk memperoleh makanan dengan berbagai cara, sesuai tipe mulutnya (menggigit dan mengunyah, menusuk dan menghisap, menghisap, mengunyah dan menjilat, memarut dan menghisap). Salah satu kesulitan pengendalian serangga adalah sifat serangga yang mudah menyesuaikan diri dengan keadaan sekitarnya. Sebagai contoh, walaupun tanaman kesukaannya tidak ada, serangga masih tetap bertahan hidup dengan memakan jenis tanaman apa saja yang ada. Serangga juga tidak hanya menyerang tanaman di lahan pertanian, tapi ada beberapa jenisnya yang menjadi hama gudang (Wudianto, 1997).

### **2.2.2. Sumber, Jenis, dan Karakteristik**

Tidak secara pasti kapan insektisida mulai digunakan orang, yang pasti bahwa bahan yang tergolong insektisida (dalam arti fungsinya) yang digunakan pertama kali oleh manusia primitive adalah lumpur dan debu. Kedua bahan ini digunakan dengan cara membalurkannya ke seluruh bagian tubuh sebagai pencegah gigitan serangga. Catatan yang paling awal mengenai insektisida adalah penggunaan sulfur sebagai fumigant. Pada tahun 1944, suplai insektisida masih sangat terbatas pada beberapa jenis saja seperti senyawa arsen, minyak petrol, nikotin, piretrum, rotenon, sulfur, gas hydrogen sianida, dan kriolit. Baru setelah Perang Dunia II dimulailah era zaman pestisida dengan penemuan-penemuan senyawa kimia dengan konsep baru, yakni dibuatnya senyawa-senyawa insektisida organik sintesis. Yang pertama kali dibuat secara komersil adalah DDT (Sastroutomo, 1992).

Senyawa-senyawa insektisida terdiri dari beberapa golongan berdasarkan susunan rumus bangunnya. Berikut diuraikan beberapa golongan besarnya.

- **Organochlorines**

Organochlorin adalah senyawa pestisida yang mengandung atom karbon (karena itu disebut organo), klor dan hydrogen, dan terkadang oksigen, dengan formula umum  $C_xH_yCl_z$ . Golongan ini dibagi menjadi 3 subgolongan yang utama, yaitu DDT, BHC, dan siklodien. Senyawa DDT dan BHC (benzen heksakhlorida) merupakan senyawa organochlorin yang pertama kali

diketahui mempunyai sifat sebagai racun serangga. Senyawa organochlorin memberikan pengaruh terhadap sistem syaraf yang lokasinya berbeda-beda tergantung dari jenis senyawanya. DDT memberi pengaruh terhadap sistem syaraf perifer, sedangkan BHC dan aldrin menyerang bagian syaraf pusat.

- Organophosphates

Golongan ini sering disebut organic phosphates. Phosphorus insecticides, phosphates, phosphate insecticides, dan phosphorus esters atau phosphoric acid esters. Mereka itu adalah derivat dari phosphoric acid dan biasanya sangat toksik untuk hewan bertulang belakang. Golongan organophosphates struktur kimianya dan cara kerjanya berhubungan erat dengan gas syaraf. Organophosphates selain toksik terhadap tulang bertulang belakang ternyata tidak stabil dan non persisten, sehingga golongan ini dapat menggantikan organochlorines, khususnya untuk menggantikan DDT.

- Carbamates

Insektisida golongan karbamat sangat banyak digunakan seperti juga insektisida lainnya dari golongan organofosfat. Sifat-sifat dari senyawa ini tidak banyak berbeda dengan senyawa organofosfat baik dari segi aktivitas maupun daya racunnya, yaitu menghambat enzim cholinesterase. Kedua golongan ini juga mempunyai residu yang tidak dapat bertahan lama di alam. Senyawa karbamat merupakan turunan dari asam karbamik HO-CO-NH<sub>2</sub>.

- Piretroid

Berasal dari piretrum diperoleh dari bunga *Chrysanthemum cinerariaefolium*. Insektisida tanaman lain adalah nikotin yang sangat toksik secara akut dan bekerja pada susunan saraf. Piretrum mempunyai toksisitas rendah pada manusia tetapi menimbulkan alergi pada orang yang peka.

Selain golongan-golongan di atas, terdapat pula golongan insektisida lainnya, diantaranya: Dinitrophenols, Thiocyanates, Organotins, Botanicals, Synthetic Pyrethroids, Siergists atau Activators, Inorganics, Fumigants, Microbials, Insect Growth Regulators (zat pengatur tumbuh serangga), Insect Repellents (zat penolak serangga).

Dalam Sudarmo (1997) disebutkan untuk membunuh jasad sasaran atau serangga hama, insektisida bekerja dengan cara-cara berikut.

- Fisis  
Bahan insektisida memblokir proses metabolisme, bukan dengan reaksi biokemis atau neurologis, melainkan secara mekanis. Sebagai contoh minyak yang digunakan untuk membunuh larva atau jentik nyamuk, maka minyak tersebut akan memblokir penutupan pernafasan atau insang. Juga penggunaan boric acid, silica gel dan aerosilica del dapat membunuh serangga karena proses dehidrasi yaitu penyerapan air dari tubuh serangga. Sehingga serangga akan kehilangan kandungan air, selanjutnya mengering dan mati.
- Merusak enzim  
Mercuri dan garam-garamnya, semua asam kuat dan beberapa logam berat termasuk cadmium dan timah hitam akan berpengaruh merusak semua enzim dalam sistem kehidupan serangga.
- Merusak saraf  
Jenis insektisida yang merusak syaraf adalah methyl bromide, ethylene dibromide, hydrogen cyanide dan chloropicrin. Golongan organochlorine atau chlorinated dan pyretroids bersifat mempengaruhi akson suatu sel syaraf atau neuron yang berfungsi dalam transmisi impuls syaraf dari badan sel satu ke badan sel yang lain.
- Menghambat metabolisme  
Insektisida yang menghambat transport elektron mitokondria, contohnya rotenone, HCN, dinitrophenols, dan organotins. Sedangkan golongan lain yang menghambat metabolisme namun dengan cara yang berbeda adalah komponen fluorine dan arsenical.
- Meracuni otot  
Insektisida yang meracuni otot yaitu karena berhubungan langsung terhadap jaringan otot adalah ryania yang mengandung semua alkaloid dan ryanodine. Kemudian sabadilla yang mengandung alkaloid, cevadine, dan veratridine.

### 2.2.3. Efek terhadap Kesehatan

Tanda keracunan insektisida berbeda pada setiap golongannya. Berikut diuraikan tanda keracunan pada beberapa golongan insektisida.

**Tabel 2.3 Tanda Keracunan Pestisida Golongan Insektisida**

Jenis Insektisida	Gejala dan Tanda	Keterangan
Organochlorin	Mual, muntah, gelisah, lemah, rasa geli atau menusuk pada kulit, kejang otot, hilang koordinasi, tidak sadar.	Tidak ada antidot langsung untuk mengatasi keracunan. Obat yang diberikan hanya mengurangi gejala seperti anti konvulsi dan pernafasan buatan
Organofosfat dan karbamat	Lelah, sakit kepala, pusing, hilang selera makan, mual, kejang perut, diare, penglihatan kabur, keluar air mata, keringat, dan air liur berlebih, tremor, pupil mengecil, denyut jantung lambat, kejang otot (kedutan), tidak sanggup berjalan, rasa tidak nyaman dan sesak, buang air besar dan kecil tidak terkontrol, inkontinensi, tidak sadar dan kejang-kejang.	Gejala keracunan karbamat cepat muncul namun cepat hilang jika dibandingkan dengan organofosfat. Antidot: atropin atau pralidoksim
Piretroid sintetik	Iritasi kulit: pedih, rasa terbakar, gatal-gatal, rasa geli, mati rasa, inkoordinasi, tremor, salivasi, muntah, diare, iritasi pada pendengaran dan perasa	Jarang terjadi keracunan, karena kecepatan absorpsi melalui kulit rendah dan piretroid cepat hilang
Piretroid derivat tanaman: piretrum dan piretrin	Alergi, iritasi kulit dan asma	Pada umumnya efek muncul 1 – 2 jam setelah paparan dan hilang dalam 24 jam. Piretrin lebih ringan dari piretrium api bersifat iritasi pada orang yang

peka.

Insektisida anorganik Asam borat dan borat Iritasi kulit: kulit kemerahan, pengelupasan, gatal-gatal pada kaki, bokong dan kemaluan. Iritasi saluran pernafasan dan sesak nafas.

Insektisida mikroba: Bacillus thuringiensis Rada ng saluran pencernaan

DEET repellent Iritasi kulit, kulit kemerahan, melepuh hingga nyeri, iritasi mata, pusing, perubahan emosi

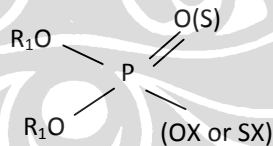
---

Gallo dan Lawry, 1991 dalam Raini, Mariana. Toksikologi Pestisida dan Penanganan Akibat Keracunan Pestisida. 2007.

## 2.3. Organofosfat

### 2.3.1. Definisi

Organofosfat memiliki struktur kimia dengan atom oksigen atau sulfur yang berikatan ganda dengan fosfor, sehingga disebut phosphate atau phosphorothioates. Sebagian besar senyawa organofosfat berikatan sulfur, karena bentuk P=S lebih stabil dan lebih larut lemak (WHO, 1996).



Gambar 2.1 Struktur Kimia Organofosfat

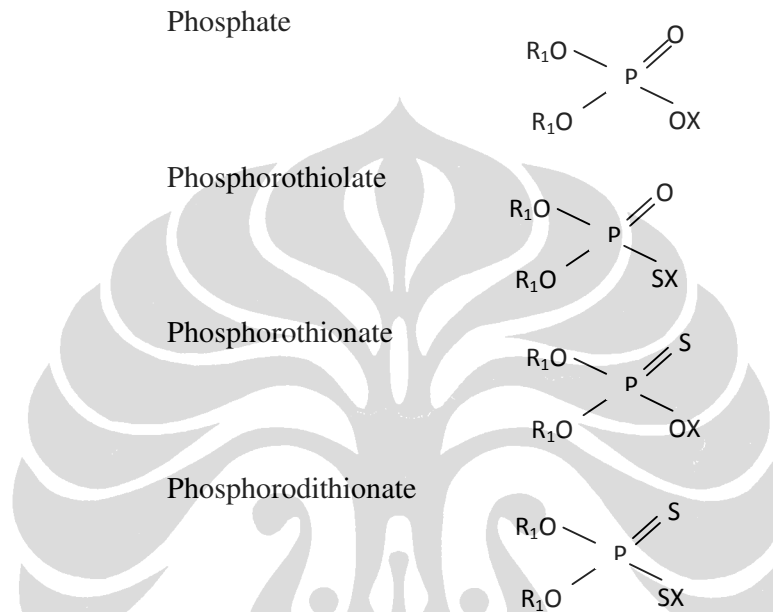
### 2.3.2. Sumber, Jenis, dan Karakteristik

Sifat senyawa ini sebagai insektisida pertama kali ditemukan oleh Dr.Gerhard Shrader dari Jerman. Pada waktu itu Pihak Sekutu sedang giat menjalankan penelitian mencari gas beracun yang dapat digunakan sebagai senjata dalam peperangan. Secara kebetulan ditemukan senyawa organofosfat ini yang mempunyai potensi yang baik untuk digunakan sebagai insektisida. Senyawa organofosfat tidak stabil, karena itu dari segi lingkungan senyawa ini lebih baik



daripada organoklorin. Meskipun demikian, senyawa organofosfat lebih toksik terhadap hewan-hewan bertulang belakang jika dibandingkan dengan senyawa organoklorin. Senyawa organofosfat mempengaruhi sistem saraf dan mempunyai cara kerja menghambat enzim cholinesterase (Sastroutomo, 1992).

Dalam WHO (1996) disebutkan, terdapat 4 subklas utama dari pestisida OP, yaitu



**Gambar 2.2 Gambar Empat Subklas Organofosfat**

Setiap jenis pestisida mempunyai tiga jenis nama yaitu *nama umum*, *nama dagang*, dan *nama kimia*. Nama dagang suatu jenis pestisida diberikan oleh si pembuatnya atau pabriknya sendiri sehingga kadangkala terdapat beberapa jenis pestisida mempunyai bahan aktif yang sama tetapi dengan nama dagang yang berbeda. Senyawa organofosfat merupakan golongan insektisida yang cukup besar. Lebih daripada 100.000 senyawa organofosfat telah diuji untuk mencari senyawa-senyawa yang mempunyai sifat sebagai insektisida. Dari jumlah ini hanya 100 senyawa saja yang berhasil diperdagangkan sebagai insektisida secara luas (Sastroutomo, 1992). Beberapa merek dagang yang sering digunakan disajikan dalam tabel berikut.

**Tabel 2.4 Daftar Beberapa Merek Dagang Pestisida Golongan Organofosfat**

No.	Merk Dagang	Bahan Aktif
1.	Ambush 2 EC	Permitrin
2.	Basudin 60 EC	Diazinon
3.	Bayrusil 250 EC	Kuinolfos
4.	Curacron 500 EC	Profonofos
5.	Decis 25 EC	Deltametrin
6.	Dursban 20 EC	Klorfirifos
7.	Matador 25 EC	Sihalotrin
8.	Meothrin 50 EC	Fenpropatrin
9.	Monitor 200 LC	Metamidafos
10.	Orthene 75 EC	Asefat
11.	Sumisidin 5 EC	Fenfalerat
12.	Supracide 40 EC	Metidation
13.	Sumithion 50 EC	Fenitrotion
14.	Tamaron 200 EC	Metamidafos
15.	Dursban 20 EC	Chlorpirifos
16.	Dizinon 60 EC	Diazinon
17.	Dharmasan 600 EC	Fentoat (Phentoat)
18.	Orthene 75 SP	Acephate

Pestisida dan Penggunaannya yang Diizinkan di Indonesia, 2004

### **2.3.3. Efek terhadap Kesehatan**

Senyawa dari golongan organofosfat berpengaruh terhadap enzim kolinesterase yang berfungsi menghidrolisis acetylcholine. Apabila cethylcholin telah terhidrolisis, pengaruhnya terhadap sel-sel efektor tidak dapat berlangsung secara terus-menerus dan berkesinambungan. Tindak balas ini merupakan proses yang normal bagi suatu sel saraf. Sekiranya berlaku keracunan oleh senyawa organofosfat, gugus fosforil dari senyawa tersebut akan mempengaruhi kolinesterase dan menyebabkan enzim ini tidak dapat berfungsi lagi. Sebagai akibatnya, acethylcholine akan berkumpul di ujung-ujung saraf dan menyebabkan sel-sel efektor menerima sinyal-sinyal yang berterusan.

Gejala keracunan organofosfat sangat bervariasi. Setiap gejala yang timbul sangat bergantung pada adanya stimulasi asetilkholin persisten atau depresi yang diikuti oleh stimulasi saraf pusat maupun perifer.

**Tabel 2.5 Efek Muskarinik, Nikotinik dan Saraf Pusat pada Toksisitas Organofosfat**

Efek	Gejala
1. Muskarinik	- Salivasi, lacrimasi, urinasi dan diaree (SLUD) - Kejang perut - Nausea dan vomitus - Bradicardia - Miosis - Berkeringat
2. Nikotinik	- Pegal-pegal, lemah - Tremor - Paralysis - Dyspnea - Tachicardia
3. Sistem saraf pusat	- Bingung, gelisah, insomnia, neurosis - Sakit kepala - Emosi tidak stabil - Bicara terbata-bata - Kelemahan umum - Convulsi - Depresi respirasi dan gangguan jantung - Koma

Gejala awal seperti SLUD terjadi pada keracunan organofosfat secara akut karena terjadinya stimulasi reseptor muskarinik sehingga kandungan asetil kolin dalam darah meningkat pada mata dan otot polos (Darmono, 2003).

Efek kesehatan yang timbul juga dipengaruhi toksisitas masing-masing bahan aktif dalam senyawa organofosfat. Toksitas dapat dilihat dari nilai LD<sub>50</sub> yang disajikan dalam table berikut.

**Tabel 2.6 Nilai LD<sub>50</sub> Insektisida Organofosfat**

Komponen	LD50 (mg/Kg)
Akton	146
Coroxon	12
Diazinon	100
Dichlorovos	56
Ethion	27
Malathion	1375
Mecarban	36
Methyl parathion	10
Parathion	3
Sevin	274
Systox	2,5
TEPP	1

IPCS WHO, 1986

#### 2.3.4. Mekanisme dalam Tubuh

Dalam WHO (1996) dijelaskan mekanisme organofosfat dalam tubuh adalah sebagai berikut.

- **Absorpsi**

Tiga rute utama yang adsorpsi adalah oral, respiratori, dan dermal. Beberapa senyawa dapat secara efektif teradsorpsi melalui salah satu atau ketiga jalur tersebut. Jalur pajanan melalui oral dan respiratori lebih mudah ditelusuri daripada adsorpsi melalui dermal, karena racun yang sudah dikenal lama sangat jarang yang teradsorpsi melalui kulit. Namun sekarang terdapat banyak zat kimia industri, pestisida, obat-obatan, dan bahan kimia rumah tangga yang dapat diserap secara efektif oleh kulit. Jalur adsorpsi dermal ini merupakan rute pajanan yang penting karena banyak insektisida moderen bersifat racun kontak. Zat kimia di dalamnya mampu menembus lapisan kutikula serangga (Hayes dan Laws, 1991)

Nonpartikulat atau partikulat terlarut (*soluble*) yang sampai ke paru-paru akan diserap secara cepat dibanding jalur masuk lain karena membran alveoli sangat tipis dan suplai dasar sangat banyak. Akan tetapi, membran alveoli tidak bersifat absorptif terhadap cairan. Material yang dapat terserap membrane alveoli dan terbawa aliran darah harus dalam bentuk gas, uap, atau partikulat. Toxican yang terserap bergantung pada jumlah, jenis zat aktifnya, dan bagian dari sistem pernafasan yang terkena. (Hayes dan Laws, 1991)

Organophosphat adalah insektisida yang paling toksik diantara jenis pestisida lainnya dan sering menyebabkan keracunan pada orang. Termakan hanya dalam jumlah sedikit saja dapat menyebabkan kematian, tetapi diperlukan lebih dari beberapa mg untuk dapat menyebabkan kematian pada orang dewasa (Darmono, 2003).

Aplikasi pestisida dengan alat semprot menimbulkan risiko pajanan melalui jalur inhalasi yang tinggi. Penyerapan melalui kulit lebih lama terjadi dibandingkan penyerapan OP dari jalur inhalasi dan ingesti. Namun, pajanan melalui jalur absorpsi ini terjadi secara luas, sehingga LD<sub>50</sub> dermal lebih sering dipakai untuk mengukur tingkat keracunan dibandingkan LD<sub>50</sub> ingesti. Penyerapan melalui gastrointestinal pada manusia masih dilaporkan terhadap beberapa jenis pestisida golongan OP. Penyerapan gastrointestinal yang

terlaporkan terjadi akibat pestisida yang tertelah dengan sengaja (*non-accident ingestion*). (WHO, 1996)

- **Distribusi**

Studi eksperimen pada beberapa spesies menunjukkan distribusi penyebaran OP (dengan radioaktif) yang luas di jaringan dan organ dalam tubuh sebelum akhirnya sebagian besar terbuang bersama urine sebagai metabolit larut air. Namun, terdapat sebagian kecil lainnya pada OP yang larut lemak tersimpan di dalam jaringan lemak yang akan terelase kemudian (WHO, 1996).

- **Jalur Metabolik dan Interaksi Biokimia**

Organofosfat menghambat aksi pseudokholinesterase dalam plasma dan kholinesterase dalam sel darah merah dan pada sinapsisnya. Enzim tersebut secara normal menghidrolisis asetilcholin menjadi asetat dan kholin. Pada saat enzim dihambat, mengakibatkan jumlah asetilcholin meningkat dan berikatan dengan reseptor muskarinik dan nikotidik pada system saraf pusat dan perifer. Hal tersebut menyebabkan timbulnya gejala keracunan yang berpengaruh pada seluruh bagian tubuh (Darmono, 2003).

Degradasi pestisida OP melibatkan beberapa reaksi perubahan biologi dalam tubuh. Penelitian pada beberapa spesies menunjukkan proses pemecahan OP yang cepat, dilihat dari metabolit larut air (*water soluble metabolite*) yang terkandung dalam urin. Senyawa pestisida OP akan dimetabolisme ke dalam enam senyawa *alkyl phosphorus* sederhana, yaitu *dimethylphosphate* (DMP), *diethylphosphate* (DEP), *O,O-dimethylphosphorodithionate* (DMPT), *O,O-diethylphosphorodithionate* (DMPDT) and *O,O-diethylphosphorodithionate* (DEPDT). Pengukuran metabolit tersebut merupakan dasar dari monitoring biologi terhadap senyawa OP. Oleh karena metabolisme senyawa-senyawa OP melibatkan berbagai macam reaksi hidrolisis, oksidasi, dan konjugasi, kemungkinan interaksi biokimia yang terjadi juga semakin luas (WHO, 1996).

- **Eliminasi**

Percobaan oral terhadap beberapa pestisida yang berbeda kepada manusia (relawan) menunjukkan bahwa ketika metabolit dalam urin terukur, kecepatan eliminasi yang terjadi sama dengan yang terukur pada percobaan hewan. Sebanyak 90% senyawa tereliminasi dalam waktu 6-24 jam setelah oral. Ditemukan pula bukti bahwa setelah proses pemberian racun (*self-poisoning*), subjek masih terdeteksi mengeluarkan metabolit sampai 14 hari setelahnya (WHO, 1996).

### **2.3.5. Cara Pengukuran Organofosfat dalam Tubuh**

Pengukuran Ach pada sel darah merah dan plasma telah lama digunakan untuk memonitoring pekerja yang terpajan organofosfat dalam beberapa tahun. Aktivitas Ach pada sel darah merah (*erythrocyte acetyl cholinesterase activity*) telah dipakai sebagai target pengganti dari aktivitas sistem saraf. Walaupun pengukuran Ach dalam sel darah merah (dan juga Ach yang kurang spesifik pada plasma) mencerminkan absorpsi senyawa OP, hubungan antara penurunan aktivitas enzim dengan gejala awal tidak selalu cukup akurat untuk memonitoring level pajanan yang sedang. Pengukuran tersebut akan lebih bermanfaat dalam diagnosa keracunan yang berat. Walaupun demikian, metode analisis otomatis yang modern saat ini mampu memberikan presisi pengukuran yang tinggi terhadap kedua enzim tersebut, penurunan aktivitas enzim yang relatif kecil dapat dianggap sebagai akibat pajanan OP. (WHO, 1996)

Senyawa OP termetabolisme dalam tubuh manusia ke dalam satu atau lebih enam tipe *dialkyl phosphate* dan terekskresi dalam urin setelah 24 – 48 jam pajanan. Pekerja yang terpajan OP dapat dimonitor melalui pengukuran metabolit ini. Berbagai metode analisis telah mampu mengekstrak dan menganalisis senyawa *dialkyl phosphates*, *phosphorothioates*, dan *phosphorodithioates* bersamaan dengan reaksi, kelarutan, dan stabilitasnya. Walaupun telah banyak penelitian yang menggunakan pengukuran *alkyl phosphate* dalam urin, penerapan teknisnya yang sulit menjadikan cara pengukuran ini belum banyak diadopsi untuk memonitor pekerja secara rutin dalam perusahaan. Pengalaman akan praktek kedua cara pengukuran tersebut menimbulkan ketidakjelasan potensi

manfaat dari pengukuran *alkyl phosphate*. Akan tetapi, ketika tingkat pajanan menurun dan perhatian tetuju pada efek kronis akibat pajanan rendah yang terus-menerus, pengukuran cholinesterase menjadi kurang bermanfaat dan pengukuran *alkyl phosphate* untuk memperkirakan pajanan mulai kembali digunakan. (WHO, 1996)

Perbandingan kedua cara pengukuran tersebut disajikan dalam tabel berikut.

**Tabel 2.7 Perbandingan Penggunaan *Urinary Alkyl Phosphate* dan *Blood Cholinesterase* untuk Memonitor Pajanan Organofosfat**

	<i>Alkyl phosphates</i>	<i>Cholinesterase</i>
Spesimen	Urin	Darah
Variasi antar individu	Tidak diketahui	Tinggi
Metode analisis		
Stabilitas	Baik	Baik
Presisi	Tinggi	Tinggi
Penggunaan	Analisis manual, beberapa tahap	Analisis otomatis (terdapat juga metode lapangan)
Waktu pengambilan sampel	Akhir waktu kerja atau besok pagi (sebelum bekerja)	Pra dan post pajanan
Interpretasi	Dapat mendeteksi level rendah tetapi interpretasi akan risiko kesehatan tidak diketahui	Penurunan % yang banyak terkait dengan gejala klinis tetapi pengukuran tidak sensitif terhadap level pajanan yang rendah
Keuntungan	Sensitif untuk pajanan yang baru saja terjadi dan pajanan level rendah	Mudah dipraktekan
Kerugian	Praktek sampling mudah tetapi membutuhkan banyak pengalaman untuk melakukan analisis	Tidak sensitif terhadap level pajanan sedang dan rendah (tidak menunjukkan gejala klinis)

Biological Monitoring of Chemical Exposure in the Workplace Guidelines Vol.1, 1996.

## 2.4. Enzim Cholinesterase

### 2.4.1. Definisi

*Acetylcholinesterase* (ChE) adalah enzim yang berfungsi menghidrolisis acetylcholine. *Active site* dari cholinesterase terdiri dari dua sub, yaitu *esteratic site* dan *anionic site*. Kedua *site* tersebut saling berkesuaian sehingga ketika sejumlah choline yang merupakan bagian dari *acetylcholine* berada dalam kantung

*anionic*, bagian enzim yang berester (*esteric*) melingkupi residu asam amino yang merupakan pecahan *acetylcholine* ke dalam kantung esterik (Hayes and Laws, 1991).

Cholinesterase atau disebut juga enzim *acetylcholinesterase* adalah suatu enzim yang terdapat di dalam membrane sel pada terminal saraf kolinergik juga pada membrane lainnya seperti dalam plasma darah, sel plasenta yang berfungsi sebagai katalis untuk menghidrolisis *acetylcholine* menjadi *choline* dan *acetat*. *Acetylcholine* adalah salah satu agen yang terdapat dalam fraksi ujung-ujung saraf dari sistem saraf yang akan menghambat penyebaran impuls dari neuron ke post ganglionik (Ganong, 1983).

Cholinesterase adalah enzim suatu bentuk dari katalis biologik di dalam jaringan tubuh yang berperan untuk menjaga agar otot-otot, kelenjar-kelenjar, dan sel-sel syaraf bekerja secara terorganisir dan harmonis. Jika aktivitas cholinesterase jaringan tubuh secara cepat sampai pada tingkat rendah, akan berdampak pada bergerakanya serat-serat otot secara sadar dengan gerakan halus maupun kasar, petani dapat mengeluarkan air mata akibat mata yang teriritasi, serta gerakan otot akan lebih lambat dan lemah. (Ditjen P2M dan PLP, 1992)

#### **2.4.2. Sumber, Jenis, dan Karakteristik**

Cholinesterase disintesis pada hati (liver), terdapat dalam sinaps, plasma darah, dan sel darah merah. Sekurang-kurangnya ada tiga jenis cholinesterase utama, yaitu enzim cholinesterase yang terdapat dalam sinaps, cholinesterase dalam plasma dan cholinesterase dalam sel darah merah. Cholinesterase sel darah merah merupakan enzim yang ditemukan dalam sistem syaraf, sedangkan cholinesterase plasma diproduksi di dalam hati. Cholinesterase dalam darah umumnya digunakan sebagai parameter keracunan pestisida, karena cara ini lebih mudah dibandingkan dengan pengukuran cholinesterase dalam sinaps (Achmadi, 1987).

#### **2.4.3. Mekanisme dalam Tubuh**

Jenis insektisida organofosfat dan karbamat mempunyai efek yang sama dalam sistem saraf (perifer dan pusat), walaupun masing-masing mempunyai



struktur kimia yang berbeda. Tahap interaksi inhibisi yang terjadi adalah sebagai berikut.

- Interaksi *active site* asetilcholinesterase membentuk ikatan kompleks yang tidak stabil
- Hidrolisis dari senyawa kompleks tadi terjadi, dengan melepaskan ikatan Z atau R substitusi yang menghasilkan *phophorylated* (organofosfat ester) atau *carbamylation* (karbamat esters) terinhibisi, sehingga AchE terinhibisi dan menjadi tidak reaktif lagi.
- Defosforilasi dan dekarbamialisasi menghasilkan AchE bebas, sehingga kembali mampu memutuskan *acetylcholine (Ach) sebagai transmitter*.

Kebanyakan fosforilasi asetilcholine tidak siap mendefosforilasi, hal ini menunjukkan inhibisi irreversible, sehingga memerlukan waktu berhari-hari. Tanda keracunan dan gejala keracunan menjadi semakin kuat, karena kadar asetilcholine tinggi. Kebalikannya, karbaril asetilcholinesterase siap berdisosiasi secara spontan untuk menghasilkan AchE bebas dan menghasilkan ciri dan gejala keracunan umumnya terlihat 3 – 6 jam terpapar (Ecobichon dalam Ruchiwat 1996, dalam Soemirat 2003).

#### **2.4.4. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kadar Cholinesterase dalam Tubuh**

Aktivitas cholinesterase dalam tubuh pada petani penyemprot dipengaruhi oleh pajanan pestisida, yang terdiri dari:

a. Lama pajanan

Lama pajanan adalah lama waktu kerja dikali frekuensi penyemprotan. Waktu kerja adalah lamanya waktu yang diperlukan untuk bekerja dengan pestisida, sedangkan frekuensi penyemprotan ialah kekerapan melakukan penyemprotan dengan pestisida. Semakin lama waktu kerja yang digunakan dan semakin sering penyemprotan, maka akan semakin besar kemungkinan untuk terpapar oleh pestisida. Pekerja yang bekerja dalam jangka waktu cukup lama dengan pestisida akan mengalami keracunan menahun, artinya makin lama bekerja maka akan makin bertambah jumlah pestisida yang terabsorpsi dan

mengakibatkan menurunnya aktivitas *cholinesterase* dan masa kerja dapat dijabarkan secara spesifik berdasarkan lamanya pemaparan.

Menurut Permenaker No.Per-03/Men/1986 pasal 2 ayat 2a disebutkan bahwa untuk menjaga efek yang tidak diinginkan, maka dianjurkan supaya tidak melebihi empat jam per hari dalam seminggu berturut-turut bila menggunakan pestisida. Tenaga kerja yang mengelola pestisida tidak boleh mengalami pemaparan lebih dari 5 jam sehari dan 30 jam dalam seminggu. Sementara WHO menetapkan lama penyemprotan terpajan pestisida saat bekerja selama 5-6 jam per hari dan setiap minggu harus dilakukan pengujian kesehatan, termasuk kadar *cholinesterase* darah.

b. Kontak terakhir

Menurut Wardiani (1997) dalam Simbolon (2004) *cholinesterase* dalam plasma akan kembali normal memerlukan waktu tiga minggu, sedangkan dalam sel darah merah membutuhkan waktu dua minggu. Pada pemeriksaan kadar *cholinesterase* dalam darah menggunakan Tintometer Kit dengan perangkat uji lovibond, pada keracunan ringan dianjurkan istirahat (tidak kontak dengan pestisida) selama dua minggu agar mencapai kesembuhan.

c. Lama bekerja

Semakin lama waktu kerja seseorang di lingkungan yang mengandung pestisida semakin besar kemungkinan untuk terjadinya pajanan oleh pestisida sehingga semakin besar pula kemungkinan untuk terjadinya keracunan, disebabkan karena banyak kontak dan enghirupnya (Sartono, 2002).

Hasil penelitian Mukono dkk (1991) dalam Suhenda (2007) tentang monitoring biologis pada petani pengguna pestisida di daerah pertanian tanaman pangan Jawa Timur, semakin lama bekerja dengan pestisida makin menurunnya aktivitas *cholinesterase* dalam darah.

d. Dosis

Dosis (dosage) adalah banyaknya (volume) racun (bahan aktif, walaupun dalam praktek yang dimaksud adalah *product formulation*) yang diaplikasikan

pada suatu satuan luas atau *volume*, misalnya: 1 liter / ha luasan, 100 cc / m<sup>3</sup> kayu, dst. Dosis pestisida untuk suatu keperluan biasanya tetap, walaupun konsentrasi dapat berubah-ubah. *Dose* adalah banyaknya racun (biasanya dinyatakan dalam berat, mg) yang diperlukan untuk masuk dalam tubuh organisme dan dapat mematikannya, misalnya *lethal dose* (LD) dinyatakan dalam mg/kg (mg bahan aktif per kg berat tubuh organisme sasaran). Konsentrasi adalah perbandingan (persentase, *percentage*) antara bahan aktif dengan bahan pengencer, pelarut dan atau pembawa.

Penelitian Marsaulina dan Wahyuni (2007) pada petani hortikultura di Kecamatan Jorlang menyebutkan adanya hubungan yang bermakna antara dosis dengan kejadian keracunan, dengan nilai OR 2,6. Hal ini dikarenakan petani ingin mendapatkan hasil yang cepat dalam memberantas hama dan pertumbuhan tanaman sehingga melakukan peracikan dengan penambahan dosis yang telah ditetapkan. Penambahan dosis menjadi lebih pekat jika terhirup melalui inhalasi dapat berisiko terhadap kesehatan dan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Indrianingsih (2002) dalam Marsaulina dan Wahyuni juga menyebutkan bahwa pemakaian dosis pestisida yang tidak sesuai anjuran yang tertulis pada label kemasan memberikan kontribusi untuk terjadinya keracunan pestisida.

e. Suhu

Suhu yang aman dalam melakukan penyemprotan adalah 24°C – 30°C dan waktu penyemprotan di pagi hari antara pukul 06.00 – 08.00. Bila suhu melebihi yang ditentukan maka petani mudah berkeringat sehingga pori-pori terbuka. Bekerja saat udara sangat panas juga tidak nyaman, keringat banyak keluar, dan kita cenderung lebih banyak menyeka wajah untuk mengeringkannya. Tindakan ini dapat mengakibatkan kontaminasi wajah oleh pestisida karena saat menyemprot tangan (atau sarung tangan) dan lengan baju kerja sudah terkontaminasi pestisida (WHO, 1990).

f. Kelembaban

Pada kelembaban tinggi pestisida akan relatif lebih mudah menempel pada kulit dan ditunjang temperature yang cukup tinggi. Bila udara lembab, pestisida akan relative mudah melekat pada kulit.

g. Arah dan kecepatan angin

Kecepatan angin dan arah hembusannya merupakan hal yang perlu diperhatikan bagi pekerja khususnya penyemprot di lapangan. Angin yang bertiup kuat akan menerpa dan memajukan pestisida pada pekerja. Semakin cepat tiupan, semakin besar kemungkinan berisiko terpajan oleh pestisida (Syani, 2004). Biasanya pestisida diaplikasikan dengan cara disemprotkan sehingga terbentuk butiran-butiran halus yang melayang di udara dan dapat terbawa angin. Angin yang bertiup kuat akan menyebabkan partikel-partikel tersebut terbawa dan dapat menerpa pekerja sehingga terjadi pajanan oleh pestisida (Sudarmono, 1991).

Kecepatan angin yang antara 5 – 10 km/jam adalah kecepatan yang diperbolehkan untuk dilakukan penyemprotan, dengan syarat penyemprotan dilakukan searah arah angin karena angin berpotensi mengembalikan titik cairan ke tubuh penyemprot terutama pestisida yang berbentuk aerosol (WHO, 1990).

h. Residu pestisida dalam makanan

Penelitian terhadap residu pestisida dalam komoditi cabai merah besar dan cabai merah keriting yang berasal dari pasar di Kota Cianjur , Semarang, dan Surabaya, terdeteksi residu pestisida golongan organofsfat sebanyak 5 jenis, yaitu parathion, klorpirifos, dimethoat, profenofos, dan protiofos dengan kadar yang masih memenuhi batas maksimum residu (Mutiatikum, 2006).

Hasil penelitian Setyaningsih (1987) menunjukkan kadar residu pada daun apel yang mendapat perlakuan penyemprotran Fenitrothion 500 ml/ ha dan 1000 ml/ha masing-masing sebesar 0,15 mg/ kg dan 0,24 mg/kg. Sedangkan residu Fenitrothion yang terdapat dalam tanah sebesar 0,11 mg/ kg dan 0,22/kg tanah dalam waktu tiga bulan setelah perlakuan penyemprotan.

i. Umur

Aktivitas cholinesterase pada anak-anak dan orang dewasa atau umur di atas 20 tahun mempunyai perbedaan, baik dalam keadaan tidak bekerja dengan pestisida organofosfat maupun selama bekerja dengan organofosfat. Umur yang masih di bawah 18 tahun merupakan kontra indikasi bagi tenaga yang bekerja dengan pestisida organofosfat, karena akan memperberat terjadinya keracunan atau menurunnya aktivitas cholinesterase (Labour, 1975 dalam Suhenda, 2007).

j. Jenis kelamin

Jenis kelamin antara laki-laki dan wanita mempunyai angka normal aktivitas cholinesterase yang berbeda. Pekerja wanita yang berhubungan dengan pestisida, lebih-lebih dalam keadaan hamil akan mempengaruhi derajat aktivitas cholinesterase.

k. Kebiasaan merokok

Diketahui nikotin mempunyai pengaruh yang mirip dengan *acetylcholinesterase* terhadap serabut otot sehingga mampu menginvasi *cholinesterase* pada sinaps yang menyebabkan tidak dapat menghidrolisis *acetylcholine* yang dilepaskan pada lempeng akhiran. Akibatnya, jumlah *acetylcholine* meningkat bersamaan timbulnya impuls beruntun sehingga merangsang serabut otot dan menimbulkan hemaliam (Guyton, 1995 dalam Faziiah 2002).

l. Pengetahuan

Pengetahuan seseorang tentang suatu objek akan mempengaruhi sikapnya terhadap objek tersebut dan selanjutnya sikap seseorang tentang suatu objek akan dapat mempengaruhi perilaku seseorang yang berkaitan dengan objek tersebut. Dengan pengetahuan yang luas tentang pestisida beserta bahayanya, para petani akan bertingkah laku baik sehingga dapat terhindar dari bahaya yang diakibatkan pestisida. Pengetahuan tentang penggunaan pestisida secara aman pada kegiatan pertanian, akan bermanfaat bagi orang yang menggunakan pestisida itu sendiri, juga masyarakat luas dan lingkungan secara umum (Suhenda, 2007).

m. Alat Pelindung Diri

Penggunaan alat pelindung diri oleh aplikator akan menurunkan risiko terpapar pestisida. Alat pelindung diri merupakan alat atau sarana pelindung diri bagi pemaparan lingkungan yang berisiko terhadap pekerja, sebelum dilakukan pencegahan pada sumber paparan. Dengan demikian, diharapkan pekerja terhindar atau berkurang dari paparan zat kimia (termasuk pestisida). APD terdiri dari pelindung kepala (helmet), pelindung pernafasan (masker), sarung tangan (hand glove), pelindung badan (uniform / overall), dan pelindung kaki (sepatu boot).

Berdasarkan Permenkes No.258/Menkes/Per/III/1992 tentang persyaratan Pengelolaan Pestisida, untuk perlengkapan pelindung yang minimal harus digunakan berdasarkan jenis pekerjaan dan klasifikasi pestisida khusus penyemprotan di luar gedung dengan klasifikasi pestisida yaitu:

- Pestisida yang sangat berbahaya sekali: sepatu boot, baju terusan lengan panjang dan celana panjang, topi, pelindung muka, masker, dan sarung tangan.
- Pestisida yang sangat berbahaya: sepatu kanvas, baju terusan lengan panjang dan celana panjang, topi, masker.
- Pestisida yang berbahaya: sepatu kanvas, baju terusan lengan panjang dan celana panjang, topi, masker
- Pestisida yang cukup berbahaya: sepatu kanvas, baju terusan lengan panjang dan celana panjang, topi.

Hasil penelitian Prabowo (2002) menunjukkan hasil Alat Pelindung Diri (APD) berhubungan dengan aktivitas *cholinesterase* ( $p = 0,0002$ ). Hasil penelitian Nurhayati (1997) menyebutkan bahwa model pakaian pelindung yang aman untuk bekerja sebagai tenaga penyemprot adalah baju dan celana panjang, masker, topi, dan sarung tangan. Penelitian yang dilakukan oleh Mwanthi dan Kimani di Kenya melaporkan bahwa akibat penggunaan pakaian pelindung yang tidak sempurna menyebabkan keracunan. Menurut Browner, et. al. yang dikutip oleh Stone dkk. dalam Nurhayati (1997) dalam Prabowo (2002) menyebutkan bahwa pajanan yang terbesar dari penyemprot pestisida adalah melalui kulit dan bagian tersebut adalah tangan.

Hasil penelitian Marsaulina dan Wahyuni (2007) juga menemukan adanya hubungan yang bermakna antara variabel kelengkapan Alat Pelindung Diri (APD) yang dipakai petani dengan kejadian keracunan, dengan besar OR 5,8. Artinya, petani yang tidak memakai APD secara lengkap berisiko terkena keracunan pestisida 5,3 kali lebih besar jika dibandingkan dengan petani yang menggunakan APD secara lengkap.

Penelitian-penelitian tersebut juga sejalan dengan penelitian Handojo (2000) dalam Marsaulina dan Wahyuni (2007) yang menyebutkan bahwa ada hubungan pemakaian APD dengan terjadinya keracunan. Nasruddin (2001) dalam Marsaulina dan Wahyuni (2007) mendapatkan hubungan yang signifikan dengan risiko sebesar 3,6 kali lebih besar (OR = 3,6).

n. Keadaan gizi dan kesehatan

Orang yang menderita suatu penyakit yang mengakibatkan rendahnya kadar Hb dalam darah akan mengakibatkan peningkatan penurunan tingkat aktivitas *cholinesterase*. Begitu juga bila mempunyai kelainan pada fungsi hati (Atmosoeharjo, 1991). Orang dengan status gizi buruk akan mengakibatkan malnutrisi dan anemia. Kedua keadaan ini dapat mengakibatkan turunnya kadar *cholinesterase* dalam tubuh.

Penelitian Marsaulina dan Wahyuni (2007) pada petani hortikultura di Kecamatan Jorlang Hataran, Kabupaten Simalungun, didapatkan hasil adanya hubungan yang bermakna antara status gizi dengan kejadian keracunan pestisida ( $p = 0,019$ ) dengan OR 2,2, yang artinya orang dengan status gizi kurang berisiko 2,2 kali terkena keracunan pestisida dibandingkan petani dengan gizi baik. Hal ini dapat dijelaskan bahwa konsumsi makanan pada petani tidak memenuhi syarat gizi yang baik, karena belanja untuk mendapatkan kebutuhan sehari-hari dilakukan sekali dalam seminggu, yang dalam istilah masyarakat disebut dengan *pecan*. Selain itu, petani mempunyai aktivitas yang banyak mengeluarkan kalori seperti mencangkul, memberi pupuk, dan menyemprot, serta berkumpul pada malam hari hingga larut malam.

o. Penyuluhan

Penyuluhan adalah kontak antara pekerja dengan petugas secara intensif untuk menjelaskan permasalahan yang dihadapi pekerja dan cara penyelesaiannya. Dengan penyuluhan diharapkan pekerja bersedia dengan sukarela, berdasarkan kesadaran dan penuh pengertian untuk mengubah perilakunya (Notoadmodjo, 1993).

Penyuluhan pengamanan pestisida adalah upaya memberikan pengalaman belajar bagi perorangan, kelompok, dan masyarakat untuk menerapkan cara-cara pengelolaan pestisida secara tepat dan benar dalam upaya mengamankan lingkungan dan manusia dari cemaran atau pengaruh buruk pestisida (Depkes RI, 1998).

Tujuan penyuluhan pada petani adalah agar petani penyemprot dalam melakukan pemberantasan hama di lahan pertanian dapat berperilaku secara tepat dan benar melalui (Syani, 2004):

- Pemahaman tentang bahaya pestisida
- Pemahaman tentang cara masuk pestisida ke dalam tubuh manusia
- Pemahaman tentang cara memilih pestisida
- Pemahaman tentang cara menyimpan pestisida
- Pemahaman tentang cara menggunakan pestisida
- Pemahaman tentang cara menangani limbah pestisida

#### **2.4.5. Cara Pengukuran Enzim Cholinesterase dalam Tubuh**

Pemeriksaan cholinesterase darah dilakukan dengan menggunakan Tintometer Kit dengan perangkat uji cholinesterase *Livibond*. Perangkat ini telah dibentuk sebagai suatu penguji / pemantau lapangan sehingga memungkinkan diadakannya pengecekan cepat secara berkala kepada mereka yang terlibat dalam penggunaan pestisida. Pengujian ini mengukur tingkat cholinesterase darah dengan asumsi bahwa darah dari orang-orang yang menyatakan sebagai suatu persentase dari aktivitas cholinesterase dalam darah normal.

Prinsip pengujiannya adalah, darah yang berisi suatu enzim cholinesterase membebaskan acetyl acid (asam asetat) dari acetyl choline, karena itu akan mengubah pH. Suatu campuran yang terdiri dari darah, indikator dan acetyl



choline perchlorat periode ini diukur dengan membandingkan warnanya dengan suatu set kaca baku yang berwarna permanen (komparator) yang dipasang pada *disk*. Perubahan pH adalah ukuran dari tingkat aktivitas cholinesterase dalam darah.

Cara pengujiannya adalah sebagai berikut.

---

<b>Tahap 1</b>	Uji reagent: Indikator dan larutan substrat dengan darah dari subjek control yang normal (seorang yang sehat, diketahui tidak terpapar dengan pestisida)
<b>Tahap 2</b>	Sampling darah: Sebuah tabung reaksi berisi larutan indikator disiapkan untuk kontrol dan untuk setiap orang yang akan diuji sampel darah (0,01 cc) diambil (dengan tusukan di ujung jari) kemudian dimasukkan ke dalam tabung.
<b>Tahap 3</b>	Penambahan larutan substrat: Kepada setiap tabung ditambahkan larutan substrat, dimulai dengan tabung control. Waktu adalah penting ( <i>crucial</i> ) bagi suksesnya pengujian pada saat penambahan substrat ke dalam tabung control waktu 0, dicatat substrat kemudian ditambahkan ke tiap-tiap tabung dengan urutan setiap satu menit interval waktu dari waktu 0.
<b>Tahap 4</b>	Perbandingan warna: Setelah penambahan substrat, control dan sampel-sampel lainnya akan membentuk warna mulai dari hijau sampai kuning. Warna dari sampel dibandingkan dengan sautu set kaca berwarna baku yang dipasang dalam <i>disk</i> . Setiap kaca-kaca baku ini mewakili suatu persentase yang sudah diketahui dari aktivitas cholinesterase normal, berjarak 0 – 100%. Dalam teknik baku, perlu menunggu sampai campuran larutan dalam tabung control mencapai 100% tingkat aktivitas, yang ditandai dengan warna kuning yang terkuat dalam <i>disk</i> . HI ini dapat memakan waktu antara 15 – 25 menit, tergantung pada suhu udara setempat.
<b>Tahap 5</b>	Analisis hasil: Hasil pengujian dianalisis dengan menggunakan table sederhana yang telah tersedia. Selanjutnya, tindakan yang harus diambil, diberitahukan kepada penderita

---

Aktivitas cholinesterase dalam darah yang terukur dinyatakan dalam persen dari normal. Hasil pembacaan tersebut dapat dikelompokkan sebagai berikut.

- Normal ( $\geq 75\%$ )  
Tidak memerlukan perlakuan apapun, namun dilakukan uji cholinesterase kembali dalam jangka waktu ke depan.
- Keracunan ringan (*Over-exposure probable*) ( $< 75\% - \geq 50\%$ )  
Ulangi test. Jika terkonfirmasi benar, perlu menghentikan pekerjaan yang berhubungan dengan organofosfat selama dua minggu kemudian test kembali untuk mengamati penyembuhan.
- Keracunan sedang (*Serious over-exposure*) ( $< 50\% - \geq 25\%$ )  
Ulangi test. Jika terkonfirmasi benar, hentikan semua pekerjaan yang berhubungan dengan pestisida. Jika muncul gejala medis, perlu dilakukan perawatan medis.
- Keracunan berat (*Very serious and dangerous over-exposure*) ( $< 25\%$ )  
Ulangi test. Jika terkonfirmasi benar, hentikan semua pekerjaan dan lakukan pemeriksaan medis.  
Pengelompokan tingkat keracunan tersebut selanjutnya diadopsi oleh Departemen Kesehatan RI sebagai penentuan tingkat keracunan.

## 2.5. Residu Pestisida di Lingkungan

Pestisida terbukti bisa dengan cepat menurunkan populasi jasad pengganggu. Tindakan praktek aplikasi pestisida yang sering digunakan dalam proses produksi pertanian, ternyata telah memperbesar kemungkinan terjadinya residu dan efek toksik pestisida terhadap lingkungan, baik lingkungan geofisik maupun lingkungan biologis termasuk produk sayuran dan manusia (konsumen) dan produsen (petani). Hal ini mungkin terjadi mengingat pestisida masuk kedalam lingkungan akan mengalami berbagai reaksi perombakan, baik yang bersifat ditoksifikasi maupun biomagnifikasi yang bisa menimbulkan efek residu. Matsumura (1972) menyebutkan bahwa pestisida yang masuk kedalam suatu lingkungan, maka pestida tersebut akan diserap oleh berbagai macam komponen dalam lingkungan tersebut, kemudian ditransportasikan ketempat lain melalui mekanisme transport ekosistem, serta mengalami berbagai macam sistem perombakan melalui agen-agen fisik, kimia dan biologis (Balitbang Provinsi Jawa Timur, 2006).

### **2.5.1. Residu pada Tanaman**

Pestisida pada tanaman, bila sistemik akan terserap masuk ke dalam jaringan-jaringan tanaman (daun, buah, cabang, akar kulit, dan seandainya). Pestisida tersebut dapat bersifat toksik terhadap tanaman pokok, hingga tanaman itu mati atau pertumbuhannya terganggu. Pestisida akan selalu meninggalkan residu pada tanaman. Residu ini diperlukan untuk dapat membunuh hamanya. Namun., sejumlah pestisida tertentu (pestisida yang tergolong sangat persisten) meninggalkan residu cukup lama pada tanaman hingga besar kemungkinan ikut termakan oleh herbivor atau manusia (Oka, 1995).

Pada tanaman, reaksi metabolisme yang terjadi pada umumnya bersifat detoksifikasi sehingga kurang membahayakan. Selanjutnya disebutkan pula bahwa walaupun tidak membahayakan tanaman, tetapi beberapa bukti lapangan menunjukkan adanya gejala fitotoksis kalau dosis pestisida cukup tinggi, atau tanaman bila tidak mampu melakukan detoksifikasi. Metabolit-metabolit pestisida tersebut pada umumnya tidak bersifat toksik ada yang terlarut dalam cairan sel, ada yang diekskresikan keluar tubuh dan ada yang terakumulasi didalam tubuh (organ-organ tertentu) sebagai residu. Residu ini biasanya tidak mengganggu tanaman itu sendiri, tetapi dapat menimbulkan efek toksik pada organisme yang mengkonsumsi tanaman tersebut (Matsumura, 1973).

### **2.5.2. Residu pada Tanah**

Tanah merupakan komponen lingkungan yang mengandung sebagian besar residu pestisida, baik yang dari limbah tumbuhan, hewan maupun manusia. Sebagian besar residu pestisida dalam tanah ini berada dilapisan permukaan yang menghadapi berbagai agen perombakan fisik, kimia dan biologis. Agen perombakan biologis yang paling penting adalah mikroba tanah. Apabila gangguan ini serius, dalam arti populasi mikroba tanah sangat berkurang, maka dikhawatirkan akan berdampak yang lebih luas terhadap kelestarian ekosistem tanah (Balitbang Jawa Timur, 2006).

Tanah dapat dengan sengaja diberikan pestisida untuk mengontrol serangga, nematoda, atau penyakit. Terhitung sebanyak 50% dari pestisida yang diaplikasikan dengan cara disemprot pada tanaman menyimpang dari target

(tanaman) dan jatuh ke permukaan tanah. Beberapa pestisida bersifat persisten di dalam tanah, walaupun sebagian besarnya menguap ke udara. Persistensi dan transportasi pestisida di tanah bergantung pada beberapa faktor seperti struktur kimia dari senyawa, tipe formulasi, tipe tanah, cuaca, irigasi, tipe tanaman, dan mikroorganisme yang ada di tanah (WHO, 1990).

Penelitian yang dilakukan oleh Rosliana (2001) dalam Soemirat (2003) menemukan residu pestisida jenis klorpirifos dengan konsentrasi antara 0,136 ppm dalam tanah Lembang dan 0,699 ppm dalam tanah Gambung, Bandung. Pestisida yang berada dalam tanah ini terserap oleh tanaman, terutama sayuran akar seperti wortel. Jika terserap pada rumput, herbivora seperti sapi dapat mengkonsumsi residu tersebut hingga akhirnya terkandung dalam susu dan daging. Kandungan pestisida pada tanah juga berpotensi mencemari air tanah. (WHO, 1990).

### **2.5.3. Residu pada Air**

Insektisida organofosfat lebih mudah larut dalam air dibandingkan insektisida organoklor. Lebih mudah terhidrolisa menjadi menjadi senyawa yang tidak beracun dan mudah larut dalam air. Di dalam jaringan tanaman, insektisida organofosfat termetabolisasi dengan pola yang sama dengan metabolismenya dalam tubuh hewan, hanya hasil metabolisme dalam tanaman cenderung disimpan sedangkan pada hewan hasil tersebut segera dikeluarkan (Nugroho, 1986).

Air dapat tercemar pestisida karena pembuangan sisa pestisida setelah penyemprotan, pencucian alat penyemprot di badan air, penyemprotan pada tanaman yang tumbuh di permukaan air, formulasi pestisida yang tumpah tanpa sengaja, runoff, ebocoran, dan erosi tanah yang mengandung pestisida. Air yang tercemar jika dimanfaatkan sebagai air minum dapat berisiko mengakibatkan gangguan kesehatan (WHO, 1990).

Beberapa penelitian mengenai kualitas air yang menekankan pada aspek pestisida ditemukan residu pestisida di irigasi daerah Sukapura Kecamatan Kertasari Kabupaten Bandung, pestisida golongan organofosfat jenis metamidofos, fenitotripon, dan satu jenis dari golongan organoklorin (Mulyana, 1993 dalam Soemirat, 2003). Dalam air baku air minum juga ditemukan residu

organofosfat jenis klorpirifos di Surabaya, yaitu pada Intake Kali Surabaya sebesar 3,15 ppm. Intake air untuk PDAM ini akan diolah kemudian didistribusikan kepada masyarakat (Oginawati, 2000 dalam Soemirat, 2003).

#### **2.5.4. *Acceptable Daily Intake (ADI) dan Maximum Residue Limits (MRL)***

*Acceptable Daily Intake (ADI)* dikeluarkan melalui Joint FAO / WHO on Pesticide Residues (JMPR) berdasarkan peninjauan yang menyeluruh dari data yang tersedia, mencakup biokimia, metabolik, farmakologikal, dan toksikologi yang didapat dari studi eksperimen pada hewan dan observasi pada manusia. NOAEL (*no-observed-adverse-effect level*) dijadikan parameter toksikologi yang paling sensitive. Faktor keamanan yang dipertimbangkan diantaranya jenis efek, tingkat keparahan dan reversibilitas efek, dan masalah di dalam dan antar variasi spesies diaplikasikan pada NOAEL untuk menentukan ADI pada manusia (WHO, 1989). ADI diartikan sebagai

*“The daily dosage of chemical which, during an entire lifetime, appears to be without appreciable risk on the basis of all the facts known at the time. “Without appreciable risk” is taken to mean the practical certainty that injury will not result even after a lifetime of exposure. The acceptable daily intake is expressed in milligrams of the chemical, as it appears in the food, per kilogram of body weight (mg/kg).” (IPCS, 1990)*

Dengan kata lain, ADI adalah perkiraan jumlah senyawa (jenis pestisida) dalam makanan yang bila termakan setiap hari seumur hidup tidak menimbulkan risiko kesehatan pada manusia (Mutiatikum, 2006). ADI mencakup penilaian pada data dasar mengenai kelengkapan dan relevansinya, penentuan kadar terlihat tanpa efek dalam mg/kg berat badan (NOEL) dan pemilihan faktor pengaman yang tepat untuk mengekstrapolasikannya pada asupan harian yang dapat diterima untuk manusia, juga dalam mg/kg berat badan (Lu, 1995). ADI suatu pestisida tergantung pada pola makan masyarakat. Peraturan mengenai ADI di beberapa negara maju telah dijalankan, sayang sekali sampai saat ini di Indonesia belum ada peraturan serupa yang bertujuan melindungi masyarakat dari bahaya keracunan yang fatal (Suwindere, 1993).

Sedangkan Batas Maksimum Residu (BMR) atau *Maximum Residue Limits* (MRL) diartikan sebagai

*“The maximum concentration of a pesticide residue resulting from the use of a pesticide according to good agricultural practice directly or indirectly for the production and/or protection of the commodity for which the limit is recommended.”* (IPCS, 1975)

Batas Maksimum Residu (BMR) harus dikenal secara legal. BMR ini dinyatakan dalam milligram residu per kilogram komoditas.

Tingkat residu pestisida yang diharapkan dari praktek pertanian yang baik diperkirakan dari generalisasi data secara global, dan mungkin akan senantiasa berubah seiring modifikasi praktek pertanian yang dilakukan. *Maximum Residue Limits* (MRL) atau Batas Maksimum Residu (BMR) direkomendasikan oleh JMPR sebagai cerminan pertimbangan keputusan yang dari para ahli yang datang saat pertemuan setelah mempelajari data terkait. Baik ADI maupun MRL bersifat tidak tetap. Keduanya ditentukan berdasarkan penilaian terbaik dari kelompok internasional yang beranggotakan para ahli melalui data yang tersedia pada saat evaluasi. Revisi dapat terjadi setiap kali ditemukannya data baru (WHO, 1989).

#### **2.5.5. Berbagai Cara Pengukuran Residu**

Sebelum dilakukan pengukuran, terlebih dahulu dilakukan preparasi sampel. Preparasi dimulai dengan mengukur jumlah sampel yang akan dianalisis dengan menimbang volume atau berat. Sample padat biasanya dianalisis pada kondisi kering, yaitu dengan oven 110-120° C selama 1 -2 jam dan mendinginkannya dalam suatu desicator. Analisis kimia dapat dilakukan secara langsung, yaitu dalam bentuk aslinya maupun dengan melalui tahapan preparasi. Sedangkan analisis bahan anorganik dalam suatu sampel organik dapat dilakukan dengan proses pengabuan kering (*dry ashing*). Setelah sampel menjadi cairan, selanjutnya dilakukan pengaturan kondisi untuk langkah analisis selanjutnya.

Saat ini, dapat dipilih banyak teknik untuk analisis sampel, yaitu sebagai berikut.

**Tabel 2.8 Perbandingan Beberapa Metode Analisis Residu Pestisida**

Metode	Kisaran (mol/L)	Ketelitian (%)	Selektivitas	Laju analisis	Biaya analisis	Pemakaian
Gravimetry	$10^{-1} - 10^{-2}$	0,1	R / S	Lambat	Rendah	Anorganik
Titrimetri	$10^{-1} - 10^{-4}$	0,1 - 1	R / S	Sedang	Rendah	In / Organik
Potensiometri	$10^{-1} - 10^{-6}$	2	Baik	Cepat	Rendah	Inorganik
Spektometri	$10^{-3} - 10^{-6}$	2	Baik	Sedang	Sedang	In / Organik
Voltametri	$10^{-3} - 10^{-10}$	2 - 5	Baik	Sedang	Sedang	In / Organik
AAS	$10^{-3} - 10^{-9}$	2 - 10	Baik	Cepat	Tinggi	Inorganik
Kromatografi	$10^{-3} - 10^{-9}$	2 - 5	Baik	Sedang	Tinggi	Organik
ELISA	$10^{-3} - 10^{-9}$	5 - 10	Baik	Cepat	Sedang	Organik

Departemen Kesehatan RI, 2000

Klasifikasi metode di atas dapat lebih dikhususkan dalam dua kategori yaitu secara absolut dan relatif. Termasuk dalam kategori absolut adalah gravimetry, titrimetri, dan potensiometri. Sedangkan trofometri, AAS, kromatografi, dan ELISA termasuk dala analisis relatif. Analisis secara relatif umumnya dilakukan dengan instrumen. Konsentrasi sampel dihitung dengan cara membandingkannya dengan respon standar terhadap instrumen.

- Analisis residu pestisida dengan spektrofotometri sinar tampak

Sampel yang akan dianalisis pada daerah spektrofotometri sinar tampak biasanya berupa cairan yang ditempatkan dalam *sampel cell* atau *kuvet*. Ketika suatu sinar dilewatkan melalui suatu media yang energinya setara dengan perbedaan tingkat energi pada molekul dalam media, maka energi sinar itu akan diserap. Pada spektrofotometri sinar tampak, jika suatu sinar monokromatis (yaitu sinar dengan panjang gelombang tunggal) dilewatkan melalui suatu media penyerap (*absorption cell*) yang berisi larutan blanko, maka energi radiasi sinar akan berkurang (diserap oleh media atau lapisan yang dilewatinya). Absorpsi energi tersebut membuktikan interaksi fisik antara foton dan media penyerap. Jumlah kemungkinan tumbukan yang terjadi pada lapisan ini akan sebanding dengan jumlah bspesies pada lapisan tersebut dan jumlah foton yang melewatinya. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa penurunan energi radiasi akan sebanding dengan jumlah spesies penyerap, dan jumlah foton per satuan luas penampang lintang per detik. Begitu test tube berisi larutan berwarna dimasukkan, maka secara otomatis spektrofotometer membaca nilai absorbansinya dan menghitung konsentrasinya.

- Analisis residu pestisida dengan metode immunoassay

Metode immunoassay, atau juga dikenal dengan metode ELISA (*Enzym Link Immuno Assay*), merupakan suatu metode pengukuran analit dengan menggunakan prinsip dasar reaksi yang spesifik antara antibodi dengan antigen. Analisis dilakukan dengan suatu protein immunoglobulin yang juga disebut sebagai antibodi. Antibodi ini dapat bereaksi secara spesifik dengan suatu zat tertentu, yang selanjutnya disebut sebagai antigen, membentuk kompleks antibodi-antigen.

Antibodi mempunyai reaksi yang sangat spesifik dengan berbagai kontaminan yang ada dalam lingkungan, seperti residu pestisida. Semua antibodi tadi akan membentuk kompleks antigen-antibodi dengan molekul analit yang sedang dianalisis yang terdapat dalam sampel. Pada metode ELISA Kompetitif (*Competitive Enzym Link Immunosorbent Assay*), sampel yang akan dianalisis direaksikan dengan suatu enzim berlabel analog dari analit tersebut. Keduanya, yaitu analit tanpa label (sampel) dan enzim berlabel analog dari analit akan berkompetisi memperebutkan sisi ikatan antibodi dan membentuk ikatan dengan antibodi dalam suatu perbandingan yang proporsional dengan konsentrasinya. Setelah melewati masa inkubasi dengan periode waktu tertentu, zat yang tidak berikatan dipisahkan dari kompleks antibodi berlabel dan antibodi tak berlabel.

Reagen pembentuk warna kemudian ditambahkan ke dalam kompleks tadi, dibiarkan beberapa saat (dikenal sebagai waktu inkubasi) agar proses pembentukan warna menjadi optimal. Proses pembentukan warna akan dikatalis oleh enzim yang terikat pada analog analit, kemudian diakhiri atau diperlambat dengan menambahkan suatu *stopping solution*, selanjutnya dilakukan pembacaan absorbansi dengan menggunakan spektrofotometer.

Sistem uji immunoassay residu pestisida dari Strategic Diagnostic Inc atau RaPID Assay Aystem menggunakan teknologi magnetik partikel untuk menghasilkan analisis dengan akurasi yang maksimum. Dengan cara ini antibodi diikat oleh magnetik partikel yang sangat halus sehingga proses reaksi kinetik menjadi optimal. Analisis dengan Rapid Assay System memerlukan waktu sekitar 45-60 menit. Untuk sampel tanah ditambahkan dengan waktu preparasi. Untuk



analisis kuantitatif, 8 kalibrator (4 tingkat standar dengan dua kali pengulangan) dan 1 kontrol sampel dilakukan untuk setiap assay dan maksimum 50 sampel dapat dianalisis sekaligus. Pembacaan hasil analisis dilakukan dengan spektrofotometer yang sudah diprogram dengan berbagai parameter residu pestisida sehingga tidak perlu dilakukan penghitungan untuk mencari konsentrasi residu pestisida.

- Analisis Residu Pestisida dengan Kromatografi Gas

Kromatografi adalah pemisahan campuran komponen-komponen didasarkan pada perbedaan tingkat interaksi terhadap dua fase material pemisah. Campuran yang akan dipisahkan dibawa fase gerak, yang kemudian dipaksa bergerak atau disaring melalui fase diam karena pengaruh gaya berat atau gaya-gaya lain. Komponen-komponen dari campuran ditarik dan diperlambat oleh fase diam pada tingkat yang berbeda-beda sehingga mereka bergerak bersama-sama dengan fase gerak dalam waktu retensi (*retention time*) yang berbeda-beda sehingga campuran terpisah. Alat kromatografi gas (*Gas Chromatography*) memiliki tiga bagian yang sangat penting, yaitu gerbang injeksi (*injection port*), kolom pemanas (*oven column*), dan detektor. Pada tiga bagian tersebut, pengaturan suhu memegang peranan yang penting dalam proses analisis.

Detektor dalam GC digunakan untuk memunculkan sinyal listrik hasil elusi gas pembawa dari kolom. Berbagai jenis detektor dibuat untuk melakukan deteksi. Tidak hanya berupa variasi desain, tapi juga variasi sensitivitas dan selektivitas. Sensitivitas mengacu kepada kuantitas terkecil komponen campuran, sedangkan selektivitas mengacu pada senyawa dimana sinyalnya dapat dimunculkan. Berikut ini merupakan detektor yang umum digunakan.

**Tabel 2.9 Beberapa Jenis Detektor *Gas Chromatography***

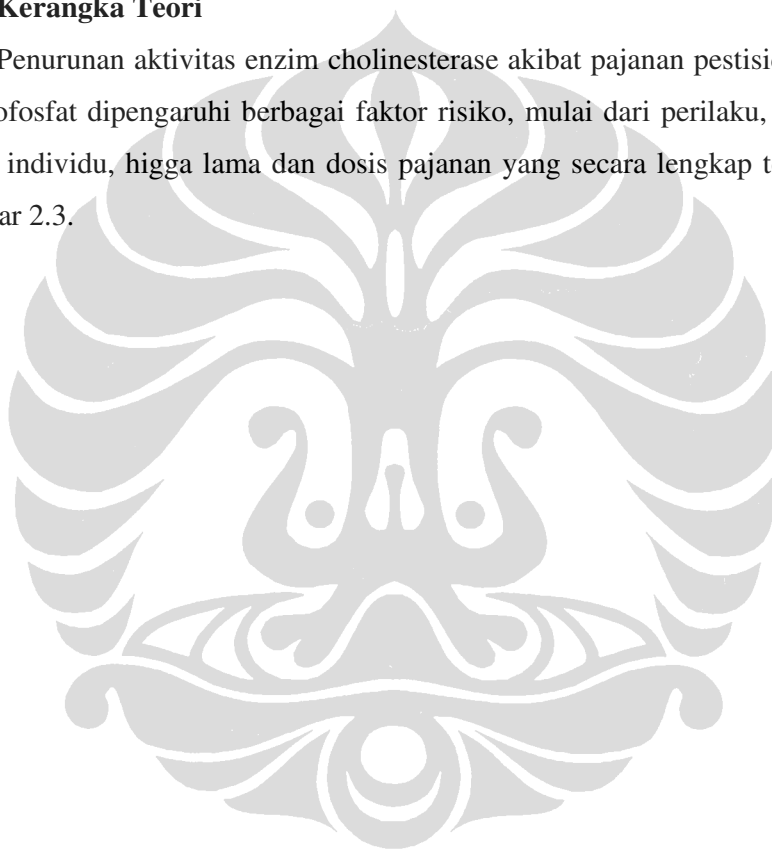
Jenis Detektor	Detectable compounds (selektivitas)	Minimum detectable amount (sensitivitas)
Thermal Conductivity Detector (TCD)	Seluruh senyawa kecuali <i>carrier gas</i>	10 ppm
Flame Ionization Detector (FID)	Senyawa organik	ppm (0,1 ng)
Electron Capture	Senyawa halogen organik	ppb (0,1 pg)

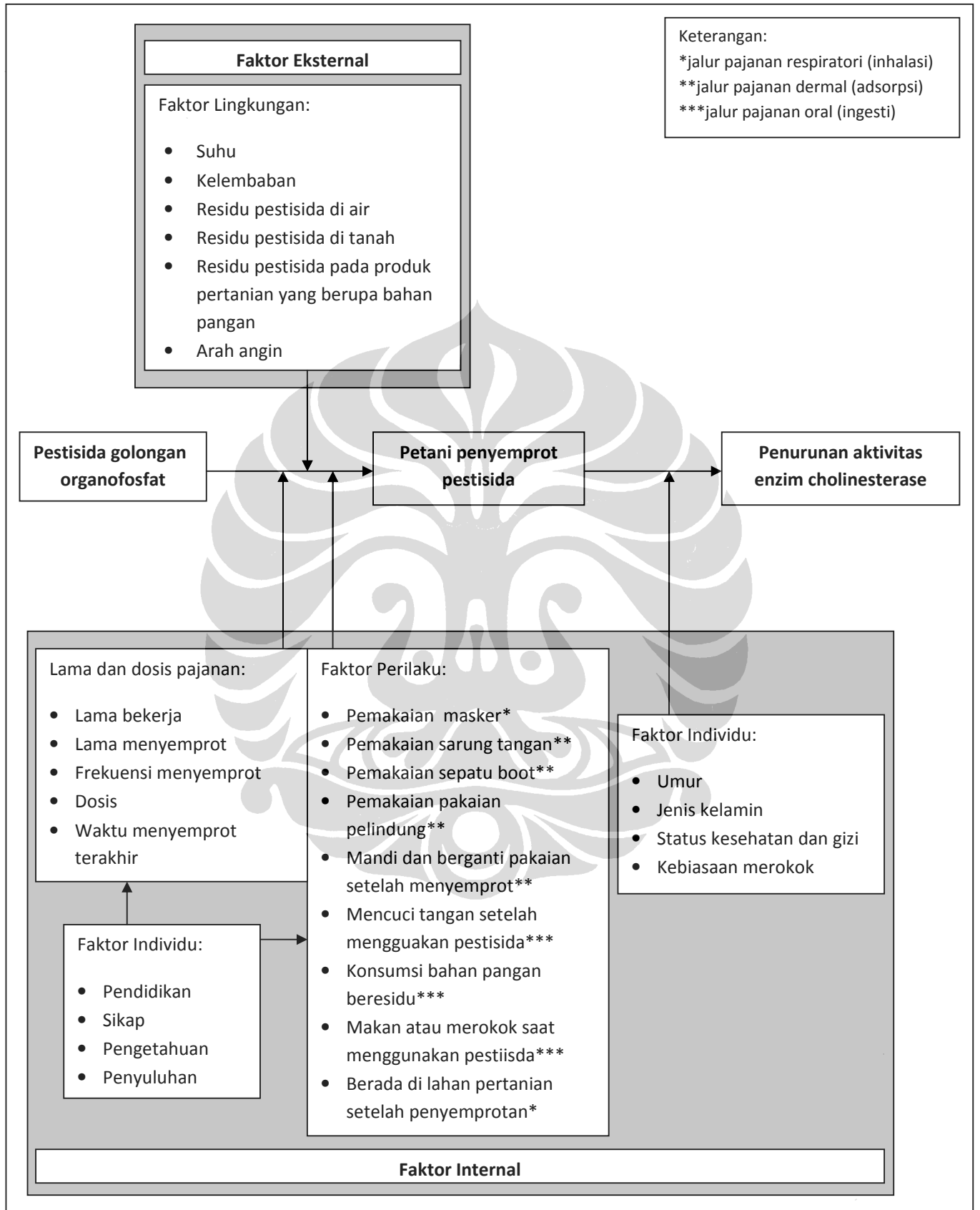
Detector (ECD)	Senyawa logam organik	
Flame Thermionic Detector (FPD)	Senyawa nitrogen organik Senyawa organik fosfat	1 ppb (1 pg) 0,1 ppb (0,1 pg)
Flame Phototermic Detector (FPD)	Senyawa sulfur organik dan inorganik Senyawa fosfat organik dan inorganik	10 ppb (10 pg)
Surface Ionization Detector (SID)	Senyawa amino level 3 Polycyclic aromatic	Ppb (0,1 pg) 1 ppb (1 pg)

Pengenalan Alat Kromatografi Gas, 2000.

## 2.6. Kerangka Teori

Penurunan aktivitas enzim cholinesterase akibat pajanan pestisida golongan organofosfat dipengaruhi berbagai faktor risiko, mulai dari perilaku, lingkungan, faktor individu, hingga lama dan dosis pajanan yang secara lengkap tersaji dalam Gambar 2.3.





**Gambar 2.3 Kerangka Teori**

## BAB 3

### KERANGKA KONSEP DAN DEFINISI OPERASIONAL

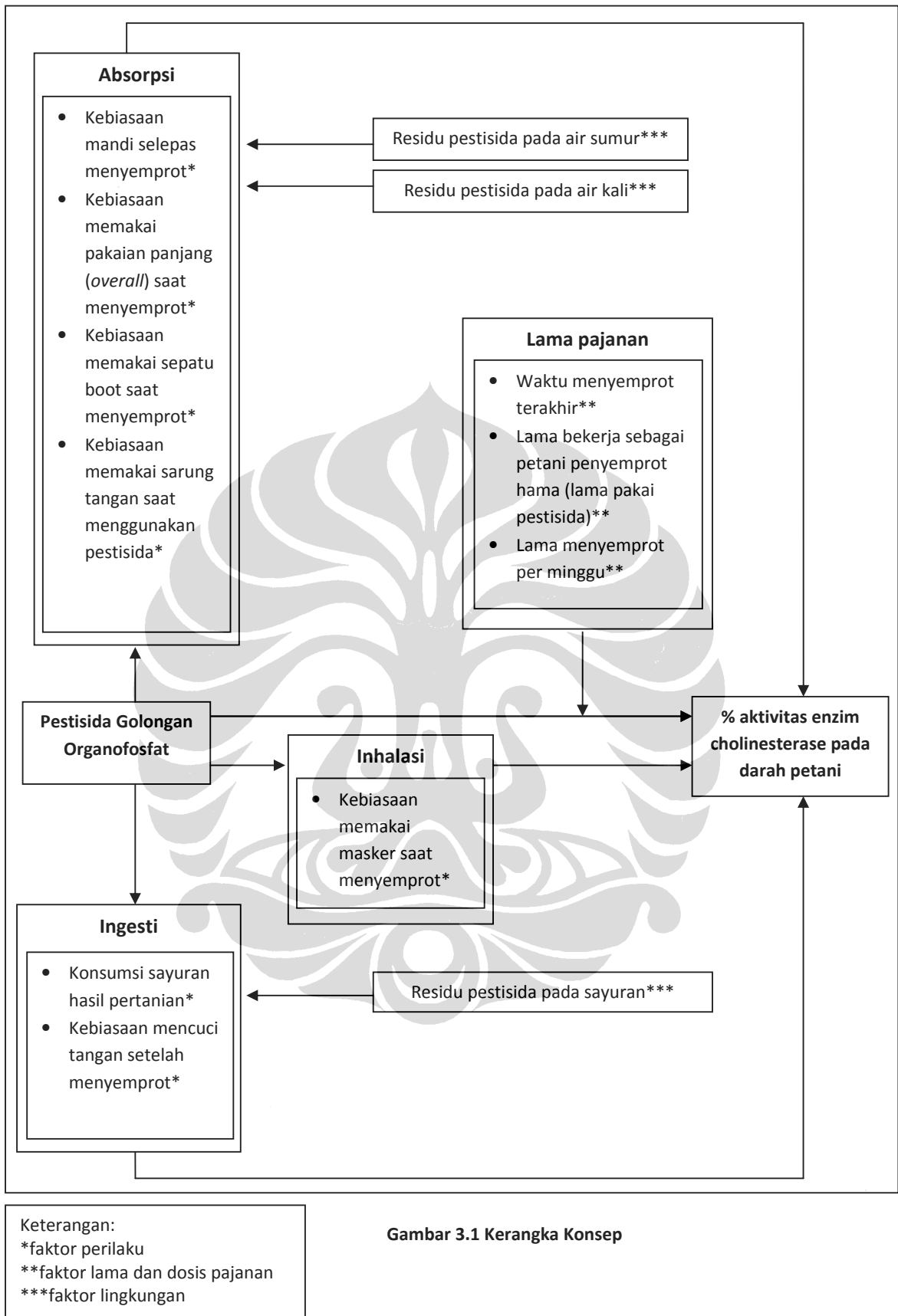
#### 3.1. Kerangka Konsep

Insektisida banyak digunakan oleh petani sayur di Kelurahan Campang, Kecamatan Gisting, Kabupaten Tanggamus, Lampung, termasuk diantaranya insektisida golongan organofosfat. Organofosfat bersifat *anti-cholinesterase* atau *cholinesterase inhibitor*. Paparan berlebih dari senyawa golongan ini dapat menghambat aktivitas enzim cholinesterase sehingga mengakibatkan gangguan pada sistem syaraf.

Paparan terhadap pestisida pada petani penyemprot hama tanaman dapat terjadi melalui jalur inhalasi, ingesti, dan absorpsi. Paparan melalui jalur inhalasi dipengaruhi oleh kebiasaan menggunakan masker pada saat melakukan penyemprotan. Paparan melalui jalur ingesti dipengaruhi kebiasaan mencuci tangan setelah melakukan penyemprotan, dan konsumsi sayuran hasil pertanian. Paparan melalui jalur absorpsi dipengaruhi kebiasaan memakai sepatu boot (laras panjang) pada saat menyemprot, kebiasaan menggunakan sarung tangan selama menggunakan pestisida, kebiasaan mandi dan ganti pakaian setelah menyemprot, dan memakai pakaian panjang (*overall*) pada saat melakukan penyemprotan.

Selain itu, lama dan besarnya paparan juga mempengaruhi besarnya penurunan aktivitas enzim cholinesterase pada petani. Faktor-faktor yang berhubungan dengan lama paparan adalah lama bekerja (sebagai petani penyemprot), waktu terakhir menyemprot, dan lamanya waktu penyemprotan dalam satu minggu (frekuensi menyemprot per minggu x lama satu kali penyemprotan).

Pengambilan residu pestisida di lingkungan dilakukan untuk memastikan adanya residu pestisida di area pertanian. Residu pestisida diambil pada media lingkungan air sumur, air kali, dan jenis sayuran hasil pertanian (sawi dan tomat). Keseluruhan kerangka konsep tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Kerangka Konsep

### 3.2. Hipotesis

- Ada hubungan antara lamanya pajanan (lama bekerja sebagai petani penyemprot, dan lama menyemprot per minggu) dengan aktivitas enzim cholinesterase.
- Ada hubungan antara pajanan organofosfat dari jalur inhalasi (kebiasaan memakai masker selama penyemprotan) dengan enzim aktivitas cholinesterase.
- Ada hubungan antara pajanan organofosfat dari jalur absorpsi (kebiasaan memakai sepatu *boot* dan pakaian panjang saat menyemprot, kebiasaan memakai sarung tangan saat menggunakan pestisida, kebiasaan mandi setelah penyemprotan) dengan aktivitas enzim cholinesterase
- Ada hubungan antara pajanan organofosfat dari jalur ingesti (kebiasaan mencuci tangan setelah menyemprot dan kebiasaan mengkonsumsi sayuran hasil pertanian) dengan aktivitas enzim cholinesterase

### 3.3. Definisi Operasional

Definisi operasional setiap variabel yang diangkat pada penelitian ini diuraikan dalam Tabel 3.1.

**Tabel 3.1 Definisi Operasional**

NO	VARIABEL	DO	CARA UKUR	ALAT UKUR	HASIL UKUR	SKALA UKUR
1	Aktivitas enzim cholinesterase	Aktivitas enzim cholinesterase ( <i>acetylcholinesterase</i> ) pada darah petani penyemprot yang dikelompokkan berdasarkan peraturan Departemen Kesehatan RI	Warna sampel darah yang diambil (dicampur larutan indikator dan dimasukkan dalam comparator) disesuaikan dengan warna pada disc (lempeng warna)	Tintometer Kit Livibond 2000	Kadar cholinesterase <ul style="list-style-type: none"> <li>• Normal (<math>\geq 75\%</math>)</li> <li>• Keracunan ringan (<math>&lt; 75\% - \geq 50\%</math>)</li> <li>• Keracunan sedang (<math>&lt; 50\% - \geq 25\%</math>)</li> <li>• Keracunan berat (<math>&lt; 25\%</math>)</li> </ul>	Ordinal
2	Residu pestisida pada sayuran	Kadar pestisida golongan <i>organophosphate</i> pada sayuran hasil pertanian. Sampel sayuran yang diambil adalah tomat	Sampel sayuran disimpan dalam plastik sampel yang tertutup untuk selanjutnya dibawa ke	Kromatografi Gas dengan detector ECD	Residu bahan aktif organofosfat dalam ppm	Ratio

		dan sawi.	Laboratorium Residu Bahan Agrokomia Bogor.			
3	Residu pestisida pada air sumur	Kadar pestisida pada air sumur di rumah Bapak Sumirat, Dusun I Kelurahan Campang.	Sampel air disimpan dalam botol sampel untuk selanjutnya dibawa ke Laboratorium Residu Bahan Agrokomia Bogor.	Kromatografi Gas dengan detector ECD	Residu bahan aktif organofosfat dalam ppm	Ratio
4	Residu pestisida pada air kali	Kadar pestisida pada air Kali Mbah Jenggot yang merupakan sumber irigasi dan dimanfaatkan untuk mencuci pakaian oleh masyarakat setempat	Sampel air kali diambil sebanyak 2 liter dan disimpan dalam botol sampel untuk selanjutnya dibawa ke Laboratorium Residu Bahan Agrokomia Bogor.	Kromatografi Gas dengan detector ECD	Residu bahan aktif organofosfat dalam ppm	Ratio
5	Konsumsi sayuran hasil pertanian	Kebiasaan mengkonsumsi sayuran yang berasal dari lahan pertanian setempat	Wawancara	<i>Kuesioner</i>	Kebiasaan mengkonsumsi sayur: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 = ya</li> <li>• 2 = tidak</li> </ul>	Ordinal
6	Kebiasaan mencuci tangan	Kebiasaan mencuci tangan setelah melakukan penyemprotan	Wawancara	<i>Kuesioner</i>	Kebiasaan mencuci tangan: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 = ya</li> <li>• 2 = tidak</li> </ul>	Ordinal
7	Kebiasaan memakai masker	Kebiasaan memakai masker selama melakukan penyemprotan	Wawancara	<i>Kuesioner</i>	Kebiasaan menggunakan masker: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 = ya</li> <li>• 2 = tidak</li> </ul>	Ordinal
8	Kebiasaan memakai pakaian panjang ( <i>overall</i> )	Kebiasaan memakai baju dan celana panjang selama melakukan penyemprotan	Wawancara	<i>Kuesioner</i>	Kebiasaan memakai pakaian panjang: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 = ya</li> <li>• 2 = tidak</li> </ul>	Ordinal
9	Kebiasaan memakai	Kebiasaan memakai sepatu <i>boot</i> atau laras	Wawancara	<i>Kuesioner</i>	Kebiasaan menggunakan	Ordinal

	sepatu <i>boot</i> / laras panjang	panjang selama melakukan penyemprotan			sepatu boot:	
					<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 = ya</li> <li>• 2 = tidak</li> </ul>	
10	Kebiasaan memakai sarung tangan	Kebiasaan menggunakan sarung tangan saat menggunakan pestisida.	Wawancara	<i>Kuesioner</i>	Kebiasaan menggunakan sarung tangan:	Ordinal
					<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 = ya</li> <li>• 2 = tidak</li> </ul>	
11	Kebiasaan mandi	Kebiasaan mandi segera setelah melakukan penyemprotan	Wawancara	Kuesioner	Kebiasaan mandi dan berganti pakaian:	Ordinal
					<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 = ya</li> <li>• 2 = tidak</li> </ul>	
12	Lama menyemprot per minggu	Lama waktu rata-rata petani melakukan penyemprotan dalam satu minggu (lama satu kali penyemprotan x frekuensi penyemprotan dalam satu minggu)	Wawancara	Kuesioner	Lama menyemprot per minggu:	Ordinal
					<ul style="list-style-type: none"> <li>• &lt; 4 jam per minggu</li> <li>• ≥ 4 jam per minggu</li> </ul>	
13	Lama bekerja	Lama bekerja sebagai petani penyemprot (menggunakan pestisida berbahan kimia)	Wawancara	Kuesioner	Lama bekerja sebagai petani penyemprot:	Ordinal
					<ul style="list-style-type: none"> <li>• ≤ 11 tahun</li> <li>• &gt; 11 tahun</li> </ul>	
14	Waktu menyemprot terakhir	Saat terakhir melakukan penyemprotan yang dianggap sebagai waktu kontak terakhir	Wawancara	Kuesioner	Waktu menyemprot terakhir:	Ordinal
					<ul style="list-style-type: none"> <li>• ≥ 4 hari yang lalu</li> <li>• &lt; 4 hari yang lalu</li> </ul>	