

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Pestisida

Kata "pestisida" terbentuk dari dua kata. Kata pertama, "pest," berarti hama, sedangkan kata kedua, "cide," berarti membunuh, yang diambil dari bahasa Inggris. Berdasarkan Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), pestisida diartikan sebagai zat beracun yang digunakan untuk membunuh hama atau racun pembasmi hama. Menurut Peraturan Pemerintah No. 7 tahun 1973, pestisida didefinisikan sebagai segala zat kimia, bahan lainnya, serta mikroorganisme dan virus yang digunakan untuk:

1. Mengendalikan atau mencegah hama dan penyakit yang merusak tanaman atau hasil pertanian
2. Mengendalikan rerumputan.
3. Membunuh daun dan menghambat pertumbuhan tanaman atau bagian tanaman, yang tidak termasuk pupuk.
4. Mengendalikan atau mencegah hama pada hewan peliharaan dan ternak.
5. Mengendalikan atau mencegah hama di perairan.
6. Mengendalikan atau mencegah Binatang dan mikroorganisme dalam rumah tangga, bangunan, serta alat transportasi, serta mengendalikan Binatang yang dapat menyebabkan penyakit pada manusia atau hewan yang harus dilindungi dengan aplikasi pada tanaman, tanah, dan air.

Efektivitas pestisida dapat terlihat tinggi setelah penggunaannya, namun terdapat dampak negatif yang ditimbulkan oleh pemakaiannya. Oleh karena itu, disarankan agar pengguna memahami sifat kimia dan fisik pestisida, serta aspek biologi dan ekologi dari organisme pengganggu tanaman sebelum menggunakannya (Nasution et al., 2022)

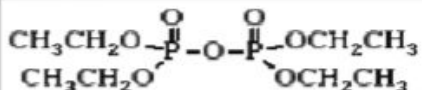
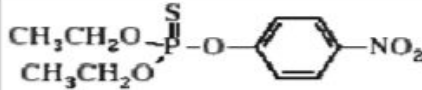
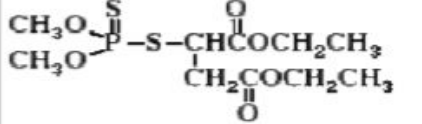
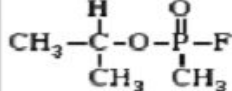
B. Penggolongan Pestisida

1. Organofosfat

Organofosfat adalah senyawa kimia sintetis yang digunakan dalam pestisida untuk membasmi hama seperti serangga, jamur, atau gulma. Selain itu, organofosfat juga terdapat dalam produk rumah tangga, seperti

pembasminyamuk, kecoa, dan hewan pengganggu lainnya. Organofosfat dapat menyebabkan keracunan dengan cara menghambat enzim cholinesterase. Enzim ini berfungsi untuk menguraikan asetilkolin menjadi asetat dan kolin. Organofosfat dapat berikatan dengan bagian aktifkolinesterase, sehingga mengganggu fungsinya. Asetilkolin ditemukan di seluruh sistem saraf dan berperan penting dalam sistem sarafotonom, yang mengatur berbagai fungsi tubuh seperti pupil mata, jantung, dan pembuluh darah. Selain itu, asetilkolin juga bertindak sebagai neurotransmitter yang memengaruhi jantung serta kelenjar dan otot polos pada saluran pernapasan (IDAI et al., 2017).

Organofosfat adalah golongan pestisida yang bekerja dengan cara menghambat enzim asetilkolinesterase, menyebabkan gangguan sistem saraf serangga dan manusia. Mereka memiliki gugus fosfat organik (P=O atau P=S) dalam strukturnya, beberapa contoh bahan aktif organofosfat Profenofos, Klorpirifos, Diazinon, Malation, Paration, Monokrotofos. (Eaton et al., 2008).

Nama	Struktur
<i>Tetraethylpyrophosphate (TEPP)</i>	
<i>Parathion</i>	
<i>Malathion</i>	
<i>Sarin</i>	

Sumber : Prijanto, T.B 2009

Gambar 1 Struktur komponen organofosfat

a. Mekanisme toksisitas

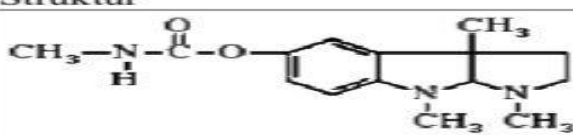
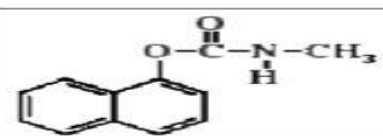

Meskipun ulasan ini telah difokuskan pada mekanisme toksik OP yang bergantung pada penghambatan AChE dan peran utama SE dalam neurotoksisitas, penting untuk dicatat bahwa kelebihan ACh sendiri (tanpa SE) atau mekanisme lain yang independen dari penghambatan AChE dapat berkontribusi terhadap toksisitas dan neurotoksisitas. Oleh karena itu, dapat

dibayangkan bahwa peningkatan ACh yang berkelanjutan di atas kadar normal dapat secara langsung membahayakan neuron dengan meningkatkan Ca^{++} intraseluler melalui aktivasi reseptor nikotinik dan muskarinik, mengganggu keseimbangan sistem neurotransmitter lain, dan kemungkinan mekanisme lainnya (Aroniadou-Anderjaska et al., 2023)

2. Karbamat

Karbamat adalah senyawa organik turunan dari asam karbamat. Karbamat adalah insektisida yang muncul setelah organofosfat. Insektisida ini umumnya memiliki tingkat toksisitas yang lebih rendah terhadap mamalia dibandingkan dengan organofosfat, tetapi sangat efektif dalam membunuh serangga. Pestisida dari golongan karbamat ini bekerja dengan cara menyebabkan karbamilasi pada enzim asetilkolinesterase dalam jaringan, yang mengakibatkan penumpukan asetilkolin di sambungan kolinergik neuroefektor, sambungan antara saraf dan otot (myoneural), serta pada ganglion otonom. Racun atau insektisida jenis ini juga dapat mengganggu sistem saraf pusat (Agus et al., 2017)

Karbamat juga bekerja dengan menghambat enzim kolinesterase, tetapi berbeda dari organofosfat karena ikatan dengan enzimnya bersifat reversibel dan toksisitasnya umumnya lebih rendah, beberapa contoh bahan aktif karbamat Metomil, Karbaril, Aldikarb, Propoksur, dan Bandiokarb (Barr &

Name	Struktur
<i>Physostigmine</i>	
<i>Carbaryl</i>	
<i>Temik</i>	

Needham, 2002).

Sumber : Prijanto, T.B 2009

Gambar 2 Struktur komponen karbamat

a. mekanisme toksisitas

Senyawa karbamat memiliki mekanisme toksisitas yang serupa dengan senyawa organofosfat. Pada senyawa karbamat, enzim asetilkolinesterase (achE) terhambat dan mengalami karbamilasi. Akibat penghambatan enzim tersebut, peningkatan kadar asetilkolin yang berikatan dengan reseptor muskarinik dan nikotinik di sistem saraf pusat dan perifer. Dapat memicu gejala keracunan yang berdampak seluruh tubuh (Agus et al., 2017)

3. Organoklorin

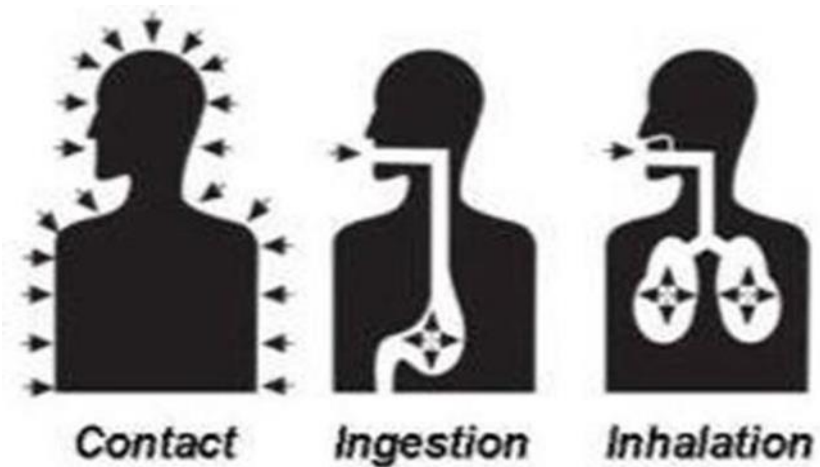
Organoklorin (OC) adalah kelompok terklorinasi senyawa yang banyak digunakan sebagai pestisida. Bahan kimia ini termasuk dalam kelas polutan organik persisten (POPs) dengan persistensi tinggi di lingkungan. Insektisida sebelumnya berhasil digunakan dalam pengendalian malaria dan tifus, namun obat-obatan tersebut dilarang di sebagian besar negara-negara maju. Tinjauan statistik penggunaan berbagai pestisida menunjukkan bahwa 40% seluruh pestisida yang digunakan termasuk golongan organoklorin bahan kimia (Jayara et al., 2016)

a. Mekanisme toksisitas

Mekanisme toksisitas organoklorin terutama disebabkan oleh stimulasi sistem saraf pusat. Siklodina, seperti antagonis GABA endosulfan dan lindane, menghambat masuknya ion kalsium dan Ca^{2+} - dan Mg^{2+} -ATPase yang menyebabkan pelepasan neurotransmitter. Studi epidemiologi telah mengungkap hubungan etiologi antara penyakit Parkinson dan polutan organoklorin (Jayara et al., 2016)

C. Keracunan Pestisida

penggunaan pestisida dari golongan Organofosfat dan Karbamat diketahui dapat menimbulkan gejala keracunan ringan hingga berat, seperti sakit kepala, penglihatan kabur, mual, batuk, kelemahan otot, pusing, kelelahan, tenggorokan kering, nyeri sendi, dan iritasi kulit. Berdasarkan jalur masuknya, pestisida dapat memasuki tubuh manusia melalui tiga cara utama: lewat kulit (kontak), melalui mulut (ditelan), dan melalui paru-paru (dihirup). Bentuk kimia pestisida, apakah padat, cair, atau gas, mempengaruhi tingkat kemungkinannya untuk menembus ke dalam tubuh (Mutia & Oktarlina, 2019).



Sumber : Mutia & Oktarlina, 2019

Gambar 3 Alur masuk racun ke dalam tubuh

D. Penanganan Pestisida

Penanganan pestisida yang baik merupakan bagian penting dari praktik Pertanian yang Baik (Good Agricultural Practices/GAP). Oleh karena itu, Kementerian Pertanian menetapkan beberapa persyaratan dalam registrasi kebun dan sertifikasi produk pangan segar, antara lain:

1. Penyimpanan pestisida sangat disarankan di tempat yang layak, aman, berventilasi, memiliki pencahayaan yang baik, dan terpisah dari bahan lainnya
2. Pestisida harus disimpan terpisah dari produk pertanian
3. Pestisida sebaiknya disimpan dalam kemasan asli dan tidak dipindahkan ke wadah lain
4. Pestisida cair dianjurkan disimpan terpisah dari pestisida dalam bentuk bubuk
5. Tempat penyimpanan pestisida perlu dirancang untuk menahan tumpahan
6. Dianjurkan adanya fasilitas untuk menangani keadaan darurat
Tata cara penanganan kecelakaan akibat keracunan pestisida perlu ditempatkan di lokasi yang mudah dilihat
7. Tanda peringatan potensi bahaya pestisida sebaiknya ditempatkan di area yang mudah dilihat (Moekasan & Prabaningrum, 2021)

E. Mekanisme Toksisitas

Cara kerja atau *Mode of Action* pada pestisida adalah kemampuan zat tersebut untuk membunuh atau mengendalikan hama atau penyakit target berdasarkan cara zat beracun tersebut masuk ke organisme sasaran serta sifat kimianya. Berdasarkan jalur masuknya, insektisida dapat dibagi menjadi enam jenis

sebagai berikut:

1. Racun perut/lambung: jenis pestisida yang dapat merusak sistem pencernaan serangga ketika termakan
2. Racun kontak: pestisida yang efektif membunuh atau mengganggu reproduksi serangga ketika bersentuhan dengan tubuhnya
3. Racun nafas: pestisida berbentuk gas atau zat mudah menguap (fumigan) yang membunuh serangga ketika terhirup oleh sistem pernapasan mereka
4. Pestisida cair dianjurkan disimpan terpisah dari pestisida dalam bentuk bubuk
5. Tempat penyimpanan pestisida perlu dirancang untuk menahan tumpahan
6. Tata cara penanganan kecelakaan akibat keracunan pestisida perlu ditempatkan di lokasi yang mudah dilihat
7. Tanda peringatan potensi bahaya pestisida sebaiknya ditempatkan di area yang mudah dilihat (Moekasan & Prabaningrum, 2021)

F. Gejala Keracunan Pestisida Organofosfat

Keracunan pestisida organofosfat (OP) terjadi melalui paparan bahan kimia yang mengganggu enzim asetilkolinesterase (AChE). OP, yang berasal dari turunan asam fosfat, bekerja dengan menginaktivasi AChE, menyebabkan akumulasi asetilkolin (ACh) dalam sistem saraf. Hal ini terjadi karena OP mengikat enzim kolinesterase, yang biasanya mengurai ACh, sehingga ACh terus-menerus menstimulasi reseptor muskarinik dan nikotinik. Gejala keracunan dimulai dengan sindrom kolinergik akut, yang meliputi sekresi berlebihan, kelemahan otot, dan depresi sistem saraf pusat. Dalam beberapa hari setelah gejala akut, bisa muncul *intermediate myasthenia syndrome* (IMS), yang ditandai dengan kelemahan otot dan insufisiensi pernapasan, atau *organophosphate induced delayed polyneuropathy* (OPIDPN), yang mempengaruhi saraf perifer beberapa minggu setelah paparan. Diagnosis keracunan OP didasarkan pada gejala klinis dan pengukuran aktivitas kolinesterase dalam darah. Pemeriksaan kolinesterase eritrosit lebih akurat untuk mendeteksi keracunan ini (Hidayati, 2019)

G. Cara Pencegahan Keracunan Pestisida

1. Petugas/Pelaksana Lapangan Selama pengendalian vektor, petugas harus memakai:
 - a. Masker untuk menutup hidung dan mulut.

- b. Masker sekali pakai yang harus diganti setiap hari, atau maksimal dipakai dua kali setelah dicuci.
- c. Pelindung wajah (*face shield*) untuk melindungi mata dan wajah dari percikan insektisida.
- d. Pakaian model montir lengan panjang dan celana panjang *cutbray* (lebar di bawah)
- e. Topi bertepi lebar untuk melindungi kepala dan tubuh dari percikan insektisida, terutama saat menyemprot area atas (seperti plafon atau atap).
- f. Sarung tangan karet untuk mencegah tangan terkena insektisida, terutama saat mencampur larutan.
- g. Sepatu bot untuk melindungi kaki dari tumpahan insektisida di lantai
- h. Petugas harus mencuci tangan dengan air dan sabun sebelum makan, minum, atau merokok, serta menghindari penyemprotan pada makanan, minuman, dan peralatannya
- i. Petugas juga dilarang bekerja melebihi waktu yang ditetapkan, yaitu maksimal 6 jam sehari
- j. Sisa insektisida dan wadahnya tidak boleh dibuang ke sungai, saluran air, kolam, atau tempat terbuka lainnya; melainkan harus di kubur sedalam 0,5 meter, jauh dari sumber air

2. Pemilik Rumah

- a. Pemilik rumah tidak boleh di dalam rumah selama penyemprotan berlangsung dan dapat kembali masuk setelah satu jam setelah penyemprotan selesai
- b. Jangan menyentuh dinding permukaan yang sudah disemprot. Bersihkan lantai yang terkena insektisida dengan air segera setelah penyemprotan

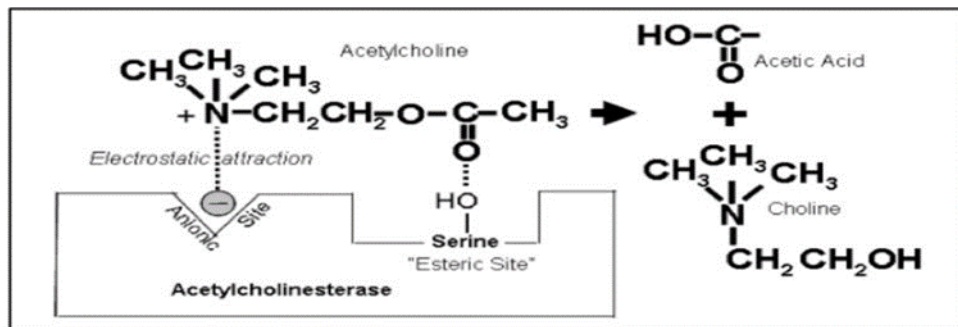
H. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Terjadinya Keracunan

Beberapa faktor risiko yang berkontribusi terhadap terjadinya keracunan pestisida meliputi usia, jenis kelamin, tingkat pemahaman, pembelajaran, keterampilan, pendidikan, penggunaan Alat Pelindung Diri (APD), status gizi, serta cara penggunaan pestisida. Adapun siklus-siklus yang perlu diperhatikan dalam pengelolaan pestisida mencakup proses penyimpanan, peracikan, pemakaian, dan penanganan setelah pemakaian pestisida (Darmiati, 2020)

1. Cholinesterase

a. Pengertian cholinesterase

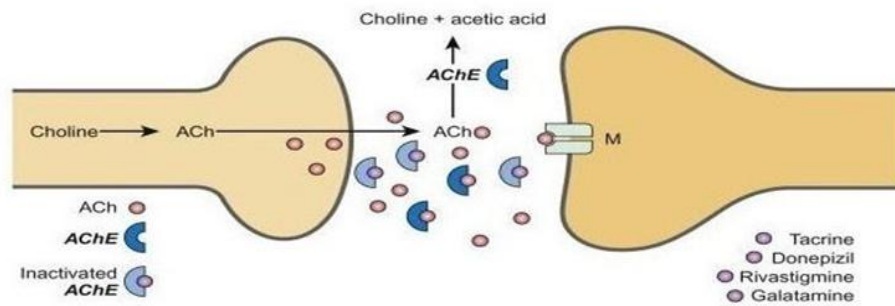
Cholinesterase adalah enzim yang terdapat dalam cairan seluler maupun ekstraseluler, yang berperan penting dalam sistem saraf manusia. Enzim ini berfungsi untuk menghentikan aktivitas asetilkolin—sebuah neurohormon atau neurotransmitter—dengan cara menguraikannya melalui proses hidrolisis menjadi kolin dan asam asetat (Devi, 2019; Novariyanto & Wibowo, 2019). Asetilkolin sendiri berperan sebagai mediator kimia yang mentransmisikan impuls saraf dari ujung saraf ke reseptor otot maupun kelenjar. Proses penghentian impuls saraf ini sangat penting, karena jika stimulasi dari asetilkolin tidak dihentikan, dapat terjadi gangguan pada fungsi tubuh.



Sumber : Lestari et al., 2019

Gambar 4 Mekanisme pembentukan kolin dan asam asetat dari asetilkolin

Fungsi utama dari cholinesterase adalah menjaga keseimbangan aktivitas asetilkolin, dengan cara menghidrolisisnya secara tepat waktu. Apabila aktivitas enzim cholinesterase terhambat, jumlah asetilkolin dalam tubuh akan meningkat secara berlebihan. Hal ini dapat menyebabkan ikatan berlebih pada reseptor muskarinik dan nikotinik di sistem saraf pusat maupun perifer, yang pada akhirnya dapat mengganggu fungsi otot, menyebabkan kejang, kelumpuhan, kehilangan kesadaran, hingga kondisi fatal (Novariyanto & Wibowo, 2019).



Sumber : Stanciu et al., 2020

Gambar 5 Mekanisme hidrolisis asetilkolin dan titik aksi inhibitor kolinesterase

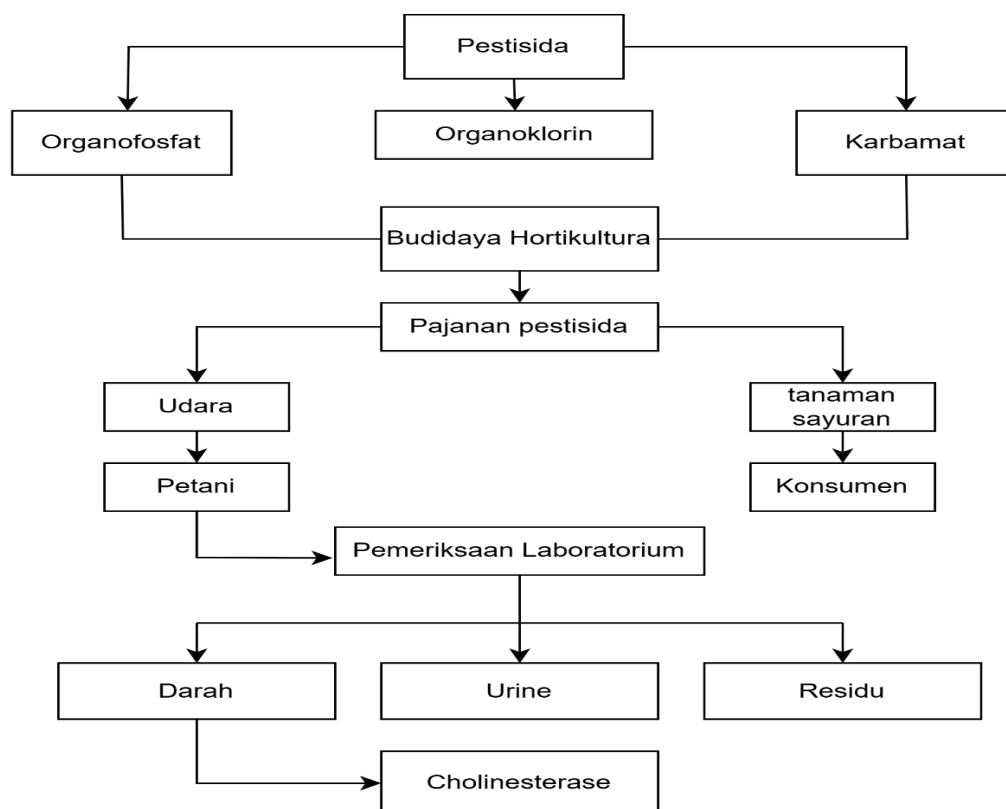
Selain itu, cholinesterase yang terdapat dalam darah juga memiliki peran penting dalam mengikat pestisida, terutama dari golongan organofosfat dan karbamat. Ketika pestisida ini masuk ke dalam tubuh melalui kulit, mulut, saluran pencernaan, atau pernapasan, senyawa tersebut dapat menghambat aktivitas enzim cholinesterase. Akibatnya, kerja sistem saraf menjadi terganggu, karena asetilkolin tidak dapat diuraikan sebagaimana mestinya (Devi, 2019). Dengan demikian, keberadaan dan fungsi cholinesterase sangat vital dalam menjaga kestabilan sistem saraf, serta sebagai indikator penting dalam mendeteksi paparan pestisida berbahaya pada manusia. (Novariyanto & Wibowo, 2019)

b. Hubungan Paparan pestisida dengan Aktifitas kadar Kolinesterase

Pestisida golongan organoklorin dikenal sebagai jenis insektisida yang efektif, namun memiliki dampak negatif terhadap lingkungan. Saat ini, penggunaan pestisida ini sudah sangat jarang karena beberapa sifatnya yang kurang menguntungkan, seperti sifatnya yang sangat persisten atau tahan lama baik di tubuh makhluk hidup maupun di lingkungan. Selain itu, organoklorin memiliki daya larut tinggi dalam lemak dan proses degradasinya sangat lambat. Pestisida mekanisme ini berfungsi dengan mengganggu keseimbangan ion natrium pada serabut saraf, yang menyebabkan sistem saraf terus menerus mengirimkan sinyal. Sebagai insektisida yang menyerang sistem saraf pusat, organoklorin dapat memicu berbagai gejala seperti pusing, lemas, sakit perut, muntah, diare, tremor, rasa cemas, kekakuan, hingga kehilangan kesadaran (Hasibuan, 2015).

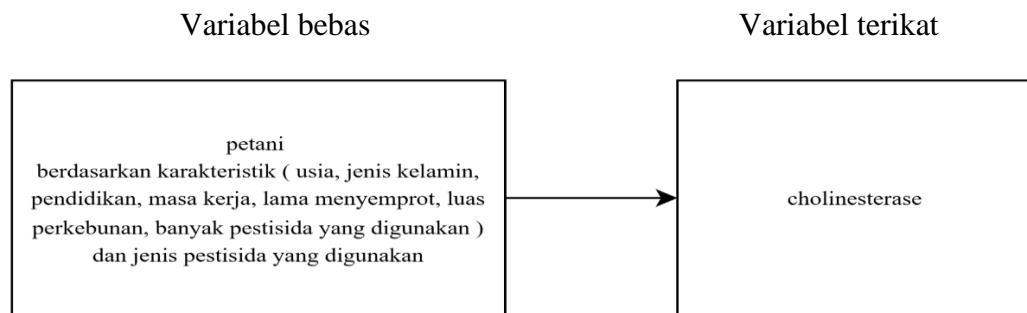
Organofosfat dikenal sebagai insektisida antikolinesterase karena kemampuannya menghambat enzim kolinesterase (ChE) di neuron. Hambatan ini terjadi karena organofosfat memfosforilasi enzim tersebut, sehingga asetilkolin (Ach) tidak dapat dipecah di area postsinaptik. Dalam kondisi normal, enzim ChE berfungsi menghidrolisis asetilkolin menjadi asetat dan kolin. Namun, ketika organofosfat masuk ke dalam tubuh, enzim ini kehilangan fungsinya secara optimal. Akibatnya, kadar asetilkolin meningkat dan berinteraksi dengan reseptor muskarinik dan nikotinik pada sistem saraf pusat dan perifer. Hal ini menyebabkan kondisi toksik yang memengaruhi seluruh tubuh, terutama di persimpangan saraf, sehingga menghambat transmisi sinyal saraf ke otot dan kelenjar. Gejala keracunan organofosfat biasanya meliputi penglihatan kabur, aktivitas otot yang tidak normal, denyut nadi yang sangat kuat, mulut berbusa, produksi air liur yang berlebihan, keringat berlebih, dan kram perut (Hasibuan, 2015).

I. Kerangka Teori



Gambar 5 Kerangka Teori

J. Kerangka konsep



Gambar 6 kerangka konsep pajanan pestisida.

K. Hipotesis

H0 : Tidak ada pengaruh pajanan pestisida terhadap kadar *cholinesterase* dalam darah petani

H1: ada pengaruh signifikan pajanan pestisida terhadap kadar *cholinesterase* dalam darah petani