

SKRIPSI
ANALISIS RISIKO KESEHATAN PADA PETANI TOMAT TERHADAP
PAPARAN PESTISIDA KLORPIRIFOS
DI KABUPATEN ENREKANG

MUHAMMAD FAHMI AZIZ

K11115343



*Skripsi Ini Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Kesehatan Masyarakat*

DEPARTEMEN KESEHATAN LINGKUNGAN
FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**ANALISIS RISIKO KESEHATAN PADA PETANI TOMAT TERHADAP
PAPARAN PESTISIDA KLORPIRIFOS
DI KABUPATEN ENREKANG**

Disusun dan Diajukan Oleh

MUHAMMAD FAHMI AZIZ

K11115343

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Kesehatan Masyarakat Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin pada tanggal 15 Juni 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Pembimbing Utama



Prof. Anwar, S.KM., M.Sc., Ph.D.

Menyetujui

Pembimbing Pendamping



Dr. Erniwati Ibrahim, S.KM., M.Kes

Ketua Program Studi



Dr. Suriah, SKM., M. Kes

PENGESAHAN TIM PENGUJI

Skripsi ini telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Ujian Skripsi Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin pada hari

Ketua : Prof. Anwar, S.KM., M.Sc., Ph.D.

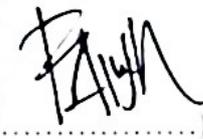
(.....)

Sekretaris : Dr. Emiwati Ibrahim, S.KM., M.Kes

(.....)

Anggota :

1). Muh. Fajaruddin Natsir, S.KM., M.Kes

(.....)

2). Yahya Thamrin, SKM., M.Kes., MOHS, Ph.D

(.....)

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Fahmi Aziz

NIM : K11115343

Fakultas : Kesehatan Masyarakat

HP : 085781513303

Email : mufazfahmiaziz@gmail.com

Dengan ini menyatakan bahwa judul artikel "Analisis Risiko Kesehatan pada Petani Tomat Terhadap Paparan Pestisida Klorpirifos di Kabupaten Enrekang" benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Makassar, Agustus 2021



Muhammad Fahmi Aziz

RINGKASAN
FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT
UNIVERSITAS HASANUDDIN
Makassar, Agustus 2021

Muhammad Fahmi Aziz

**“Analisis Risiko Kesehatan pada Petani Tomat terhadap Paparan Pestisida Klorpirifos di Kabupaten Enrekang”
(xvi + 106 halaman + 13 tabel + 3 gambar + 7 lampiran)**

Penggunaan pestisida yang tidak bijak dapat menimbulkan risiko terhadap penyakit karsinogenik dan non-karsinogenik. Penyakit yang ditimbulkan diakibatkan konsentrasi residu pestisida yang melebihi nilai batas minimum dan paparan yang terus-menerus dan berkelanjutan. Paparan pestisida dapat terjadi melalui ingesti, inhalasi dan kontak kulit. Salah satu pestisida yang memiliki tingkat toksisitas tinggi ialah *klorpirifos* dari golongan organofosfat

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis risiko kesehatan pada petani akibat paparan pestisida di Kecamatan Baroko, Kabupaten Enrekang. Desain penelitian ini adalah *cross-sectional* dengan analisis risiko kesehatan lingkungan (ARKL). Paparan pestisida pada penelitian ini adalah melalui pencernaan. Pestisida masuk melalui konsumsi tomat yang ditanam oleh petani. Adapun sampel terdiri dari petani tomat dan tomat. Sampel manusia sebanyak 15 yang dipilih secara aksidental yang sesuai dengan kriteria yang ditetapkan oleh peneliti. Sedangkan sampel tomat diambil sebanyak 1 kg dari 5 titik dari kebun responden manusia.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak terdeteksi pestisida klorpirifos dalam sampel tomat. Sehingga RQ (*Risk Quotient*) petani mendapatkan nilai kurang dari 1. Namun terdeteksi jenis pestisida lain dengan jumlah yang cukup tinggi. Semakin besar peluang paparan pestisida dapat meningkatkan tingginya kejadian keracunan karsinogenik atau non-karsinogenik pada petani. Analisis risiko dapat memberikan gambaran paparan pestisida dalam tubuh petani, melalui tahapan identifikasi bahaya, dosis respon, penentuan paparan serta hasil karakteristik risiko. Petani harus menggunakan pestisida dengan benar dan bijak dengan membaca label kemasan, penyemprotan pada waktu yang tetap dan penggunaan alat pelindung diri untuk menjaga keselamatan di tempat kerja.

Kata Kunci : ARKL, Pestisida klorpirifos, petani tomat

SUMMARY
FACULTY OF PUBLIC HEALTH
HASANUDDIN UNIVERSITY
Makassar, August 2021

Muhammad Fahmi Aziz

"Health Risk Analysis of Tomato Farmers on Exposure to Chlorpyrifos Pesticides in Enrekang"

(xvi + 106 pages + 13 tables + 4 pictures + 7 attachment)

Improper uses of pesticides can pose a risk to carcinogenic and non-carcinogenic diseases. Diseases caused by pesticide residue concentrations that exceed the minimum limit value and continuous exposure. Pesticide exposure can occur through ingestion, inhalation, and skin contact. One of the pesticides that have a high level of toxicity is chlorpyrifos from the organophosphate group.

This study tend to analyze the health risks of farmers due to the exposure to pesticides in Baroko, Enrekang. The design of this study was cross-sectional with environmental health risk analysis (ARKL). Pesticide exposure in this study was through ingestion. Pesticides enter through the consumption of tomatoes grown by farmers. The sample consisted of tomato and tomato farmers. 15 human samples were selected by accident according to the criteria set by the researcher. Meanwhile, 1 kg of tomato samples was taken from 5 points from the gardens of human respondents.

The results showed that the pesticide chlorpyrifos was not detected in the tomato samples. It shows that the RQ (Risk Quotient) of farmers gets a value of less than 1. However, other types of pesticides are detected in a fairly high amount. The greater the chance of pesticide exposure, the higher the incidence of carcinogenic or non-carcinogenic poisoning in farmers. Risk analysis can provide an overview of pesticide exposure in the farmer's body, through the stages of hazard identification, dose-response, determination of exposure, and the results of risk characteristics. Farmers must use pesticides correctly and wisely by reading packaging labels, spraying at regular times, and using personal protective equipment to maintain safety in the workplace.

Keywords: ARKL, chlorpyrifos pesticide, tomato farmers

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, karunia dan hidayah-Nya. Sholawat serta salam selalu kita panjatkan kepada Rasulullah SAW, nabi yang selalu kita harapkan syafaatnya di hari akhir kelak. Tak lupa saya mengucapkan rasa terima kasih yang begitu dalam kepada keluarga tercinta, ayah Muh. Sufriadi dan Choiru Ummah, Lutfi, Fahri dan Emir, kakak dan adik-adikku yang penulis sayangi. Dan juga kepada sahabat, teman-teman, dan orang-orang yang telah membantu dalam proses penyusunan tugas akhir atau skripsi untuk mendapatkan gelar sebagai seorang sarjana kesehatan masyarakat. Terkhusus kepada bapak Prof. Anwar., S.KM., M.Sc., Ph.D selaku pembimbing I dan Ibu Dr. Erniwati Ibrahim, S.KM., M.Kes. selaku pembimbing II penulis ucapkan rasa syukur dan terima kasih telah membimbing, memberikan waktu, dan tenaganya dalam proses penyusunan skripsi ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu penulis yaitu :

1. Dekan dan Wakil Dekan, seluruh Staf Tata Usaha FKM Unhas, Civitas Akademika FKM Unhas, dan semua staf FKM Unhas atas kerja sama dan bantuannya selama penulis menempuh pendidikan di FKM Unhas serta Dosen FKM Unhas yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan yang sangat berharga bagi penulis.
2. Ketua, Dosen-dosen, dan Staf Departemen Kesehatan Lingkungan FKM Unhas atas kerja sama dan bantuannya selama penulis menjadi mahasiswa jurusan Kesehatan Lingkungan FKM Unhas.

3. Bapak Muh. Fajaruddin Natsir, S.KM., M.Kes dan Bapak Yahya Thamrin, S.KM., M.Kes., MOHS., Ph.D selaku penguji yang memberikan saran dan masukan kepada penulis.
4. Sdri Luluk Auliah beserta keluarga dan penduduk Desa Baroko yang telah membantu, menjamu dan bersikap ramah kepada penulis saat melakukan pengambilan data di Desa Baroko.
5. Kepala Staf Laboratorium UPT BTPH Provinsi Sulawesi Selatan beserta stafnya yang banyak membantu dalam proses eksperimen sampel lingkungan. Keramahan pelayanan dan pelajaran yang begitu berharga penulis ucapkan terima kasih.
6. Teman-teman angkatan 2015 Gammara (Generasi Intelektual Muda Pengobar Semangat Perjuangan Mahasiswa), teman-teman VVIP (Kelas Internasional FKM Unhas Angkatan I), teman-teman posko PBL Desa Borongtala, teman-teman sehimpun secita HmI Komisariat Kesehatan Masyarakat Unhas atas kebahagiaan dan kebersamaan selama menjadi mahasiswa.
7. Teman satu bimbingan, Putri Kamilah Buyung atas pengalaman dan pengetahuannya meneliti ARKL.
8. Teman-teman Pelaku Sejarah, orang-orang yang memiliki kesetiakawanan, solidaritas, dan perjuangan yang besar dalam menjalankan dinamika struktural dan kultural di KM FKM Unhas.
9. Sahabat sepenanggungan dan seperjuangan, Andi Muh. Ilham, Aryangga Pratama, Muh. Danil Sahid Hidayatullah, Nurul Novi Pratiwi, dan St.

Khadijah Said yang setia menemani langkah perjuangan menyelesaikan studi.

10. Adinda Muh. Solihin dan Nurul Rida Ainun, adik sekaligus teman penulis yang sering menemani dan membantu dalam proses penyelesaian skripsi.

11. Semua pihak yang membantu proses penyelesaian skripsi, yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Proses yang begitu panjang dan melewati tantangan yang tidak mudah dilalui oleh penulis menjadi pelajaran yang sangat penting. Diawali dari proses identifikasi masalah, menemukan hipotesis hingga sampai pada kesimpulan adalah tahapan penulis menuju kepada pengetahuan hakiki yang menghasilkan kebenaran. Penulis menyadari bahwa jalan menuju kebenaran adalah bukan jalan setapak yang penuh dengan kemudahan namun jalan terjal berliku yang mengantarkan pada pencerahan.

Sampai pada ujung jalan, penulis menemukan bahwa masih banyak jalan yang perlu untuk dilalui untuk sampai pada kebenaran yang hakiki, yaitu Dia, Sang Pemilik Kebenaran. Maka dari itu, apabila dalam penelitian ini terdapat ketidaksempurnaan maka saya harap untuk dimaklumi. Hal ini tentunya berkenaan dengan keterbatasan-keterbatasan yang penulis miliki. Akhir kata, penelitian ini penulis harapkan tidak hanya menjadi sebuah buah pemikiran semata namun dapat memberi manfaat bagi kehidupan.

Makassar, Juli 2021

Peneliti

DAFTAR ISI

| | |
|--|-------------|
| HALAMAN SAMPUL | |
| LEMBAR PERSETUJUAN | ii |
| LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI | iii |
| SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT | iv |
| RINGKASAN | v |
| SUMMARY | vi |
| KATA PENGANTAR | vii |
| DAFTAR ISI | x |
| DAFTAR TABEL | xii |
| DAFTAR GAMBAR | xiii |
| DAFTAR ISTILAH | xiv |
| DAFTAR SINGKATAN | xv |
| DAFTAR LAMPIRAN | xvi |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| A. Latar Belakang..... | 1 |
| B. Rumusan Masalah..... | 8 |
| C. Tujuan Penelitian | 8 |
| D. Manfaat Penelitian | 9 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 10 |
| A. Tinjauan Umum tentang Risiko..... | 10 |
| B. Tinjauan Umum Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan..... | 14 |
| C. Tinjauan Umum tentang Tomat..... | 21 |
| D. Tinjauan Umum tentang Petani Tomat..... | 24 |
| E. Tinjauan Umum Tentang Pestisida..... | 25 |
| F. Tinjauan Umum Tentang Penggolongan Pestisida..... | 27 |
| G. Tinjauan Umum Tentang Pestisida Organofosfat..... | 30 |
| H. Tinjauan Umum tentang Pestisida Klorpirifos | 41 |
| I. Tinjauan Umum tentang Dampak Pestisida..... | 43 |
| J. Tinjauan Umum tentang Kromatografi Gas | 47 |

| | |
|--|------------|
| K. Kerangka Teori | 51 |
| BAB III KERANGKA KONSEP | 52 |
| A. Dasar Pemikiran Variabel yang Diteliti..... | 52 |
| B. Kerangka Konsep..... | 53 |
| C. Definisi Operasional | 54 |
| BAB IV METODE PENELITIAN | 56 |
| A. Jenis dan Desain Penelitian..... | 56 |
| B. Lokasi dan Waktu Penelitian | 58 |
| C. Populasi dan Sampel..... | 58 |
| D. Instrumen Penelitian | 59 |
| E. Metode Penarikan Sampel Lingkungan..... | 59 |
| F. Metode Pemeriksaan Sampel..... | 60 |
| G. Pengumpulan Data..... | 63 |
| H. Pengolahan Data | 64 |
| I. Penyajian Data | 66 |
| BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN | 67 |
| A. Gambaran Umum Lokasi Penelitian | 67 |
| B. Hasil Penelitian | 67 |
| C. Pembahasan..... | 96 |
| D. Keterbatasan Penelitian | 105 |
| BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN..... | 106 |
| A. Kesimpulan..... | 106 |
| B. Saran..... | 106 |
| DAFTAR PUSTAKA | |
| LAMPIRAN | |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 3.1 Definisi Operasional | 54 |
| Tabel 5.1 Distribusi Sebaran Sampel Manusia di Desa Baroko Kecamatan Baroko Kabupaten Enrekang..... | 68 |
| Tabel 5.2 Distribusi Frekuensi Responden Berdasarkan Kelompok Umur di Desa Baroko Kec. Baroko. Kab. Enrekang | 69 |
| Tabel 5.3 Distribusi Frekuensi Responden Berdasarkan Jenis Kelamin di Desa Baroko Kec. Baroko. Kab. Enrekang | 70 |
| Tabel 5.4 Distribusi Frekuensi Responden Berdasarkan Lama Menetap di Desa Baroko Kec. Baroko Kab. Enrekang | 70 |
| Tabel 5.5 Distribusi Frekuensi Responden Berdasarkan Lama Penggunaan Pestisida di Desa Baroko Kec. Baroko Kab. Enrekang..... | 71 |
| Tabel 5.6 Distribusi Frekuensi Responden Berdasarkan Mengidap Penyakit dalam 3 Bulan Terakhir di Desa Baroko Kec. Baroko Kab. Enrekang..... | 72 |
| Tabel 5.7 Distribusi Frekuensi Responden Berdasarkan Tingkat Pendidikan di Desa Baroko Kec. Baroko Kab. Enrekang | 72 |
| Tabel 5.8 Hasil Pemeriksaan Residu Pestisida Klorpirifos pada Tomat di Desa Baroko Kec. Baroko. Kab. Enrekang | 73 |
| Tabel 5.9 Distribusi Laju Konsumsi Responden di Desa Baroko, Kec. Baroko Kab. Enrekang..... | 74 |
| Tabel 5.10 Distribusi Frekuensi Paparan Responden di Desa Baroko Kec. Baroko, Kab. Enrekang | 75 |
| Tabel 5.11 Distribusi Durasi Paparan Responden di Desa Baroko Kec. Baroko, Kab. Enrekang..... | 76 |
| Tabel 5.12 Distribusi Berat Badan Responden di Desa Baroko Kec. Baroko, Kab. Enrekang..... | 76 |
| Tabel 5.13 Distribusi Besar Risiko Responden di Desa Baroko Kec. Baroko. Kab. Enrekang..... | 96 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Struktur kimia klorpirifos..... | 41 |
| Gambar 2.2 Kerangka Teori modifikasi dari ATSDR..... | 45 |
| Gambar 3.1 Kerangka Konsep..... | 53 |

DAFTAR ISTILAH

- Intake = adalah jumlah asupan yang diterima individu per berat badan per hari
- Klorpirifos = Salah satu jenis pestisida golongan organofosfat yang memiliki tingkat toksisitas tinggi dan digunakan untuk membasmi hama pada tomat

DAFTAR SINGKATAN

| | |
|-------|--|
| ARKL | = Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan |
| OPT | = Organisme Pengganggu Tanaman |
| RQ | = Risk Quotient adalah tingkat risiko untuk efek non karsinogenik |
| THQ | = Target Hazard Quotient yang berarti Rasio dosis aman yang tidak menimbulkan potensi risiko kesehatan yang bermakna |
| RfD | = <i>Reference Dose</i> |
| RfC | = <i>Reference Concentration</i> |
| USEPA | = United States Environmental Protection Agency |
| WHO | = <i>World Health Organization</i> |

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Kuesioner Penelitian
- Lampiran 2 Surat Izin Penelitian dari Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin Kepada Gubernur Provinsi Sulawesi Selatan (Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu Sulawesi Selatan)
- Lampiran 3 Surat Izin Penelitian dari Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu Sulawesi Selatan Kepada Bupati Pangkep (Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu Daerah)
- Lampiran 4 Hasil Pemeriksaan Sampel Tomat
- Lampiran 5 Master Tabel
- Lampiran 6 Dokumentasi Kegiatan
- Lampiran 7 Riwayat Hidup

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pestisida telah lama digunakan sebagai metode pengendalian terhadap hama dan penyakit pada tanaman. Konsep pengendalian hama yang sejak semula banyak berdasar pada pengetahuan biologi dan ekologi semakin ditinggalkan dan diubah menjadi konsep pengendalian hama yang bertumpukan pada penggunaan pestisida. Konsep tersebut hadir disebabkan oleh hasil diperoleh dengan menggunakan pestisida awalnya menunjukkan efektifitas dan efisiensi yang mengagumkan dalam pengendalian hama dibandingkan yang sebelumnya. Pada realitanya, pestisida menjadi sangat efektif, praktis dan menghasilkan keuntungan yang begitu besar bagi petani. Tak heran setelah tahun 1950-an penggunaan pestisida pertanian diseluruh dunia semakin tinggi dan industri pestisida berkembang sangat cepat sehingga menjadi industri yang memiliki kekuatan ekonomi dan politik banyak negara di dunia. Oleh karena itu, paradigma pertanian saat ini memandang bahwa pestisida menjadi salah satu faktor utama keberhasilan pembangunan pertanian. Semakin banyak penggunaan pestisida pada tanaman, maka produksi semakin baik sehingga menghasilkan keuntungan yang tinggi pula. Inilah pandangan umum yang masih berlaku di dunia sampai saat ini termasuk juga Indonesia (Laubert, 2017) .

Segala keberhasilan manusia di bidang pertanian ternyata tidak berbanding lurus dengan dampak yang terjadi. Manusia mulai merasakan dampak negatif pestisida yang semakin memprihatinkan rasa kemanusiaan dan juga rasa tanggungjawabnya terhadap kelangsungan hidup manusia. Residu pestisida pada

makanan dan lingkungan semakin menakutkan manusia (Anshori & Prasetyono, 2016).

Penggunaan pestisida seringkali tidak dapat dihindarkan. Dengan dalih untuk menjadi upaya meningkatkan mutu dan produktivitas hasil pertanian dengan membasmi hama dan penyakit tanaman. Pada dasarnya, pestisida bersifat racun. Oleh karena itu, ketidakbijaksanaan dalam penggunaan pestisida pada sektor pertanian dapat menimbulkan dampak negatif bagi kesehatan konsumen. Pestisida digunakan untuk mengendalikan, menolak, atau memikat organisme pengganggu atau hama. Pestisida memiliki banyak sekali varian jenis yaitu fungisida untuk membasmi jamur, rodentisida untuk hewan pengerat, herbisida untuk gulma, bakterisida untuk bakteri, akarisida untuk tungau, dan insektisida untuk membasmi serangga. Insektisida telah digunakan di berbagai bidang (Hidayati, 2014).

Pemakaian pestisida di negara berkembang hanya menggunakan 25% dari pestisida yang diproduksi di seluruh dunia, tetapi masyarakat di negara berkembang tersebut mengalami kematian sebesar 99% hal ini dikarenakan penggunaan pestisida di negara berkembang yang lebih tinggi, tidak aman, serta sistem peraturan, kesehatan dan pendidikan yang lebih lemah dibandingkan negara maju. Di Indonesia, persentase penggunaan/penyimpanan pestisida oleh Rumah Tangga (RT) di dalam rumah sekitar 20% hal ini menunjukkan masih ada risiko paparan pestisida tidak hanya di area persawahan tetapi juga di dalam rumah, sedangkan di Provinsi Jawa Tengah, proporsi rumah tangga dalam penggunaan pestisida sebesar 17,1% sedangkan proporsi penduduk umur ≥ 10 tahun yang berperilaku benar dalam

cuci tangan setelah menggunakan pestisida tahun 2013 masing-masing 49,5%. (Massa et al., 2010).

Pengetahuan yang kurang tentang penggunaan pestisida menyebabkan pengguna pestisida secara berlebihan dan tidak terkendali menggunakan pestisida. Hal ini seringkali memberikan risiko keracunan pestisida bagi petani. Paparan pestisida tergantung peran dosis pestisida, lama paparan dan faktor modifikasi paparan seperti penggunaan APD. Risiko keracunan pestisida ini terjadi karena penggunaan pestisida pada lahan pertanian khususnya sayuran (Yuniastuti, 2018).

Terbukti dengan penelitian yang dilakukan oleh Yuantari (2013), yang berjudul Tingkat Pengetahuan Petani dalam Menggunakan Pestisida (Studi Kasus di Desa Curut Kecamatan Penawangan Kabupaten Grobogan). Peneliti mendapatkan kesimpulan bahwa petani tidak memiliki pengetahuan yang cukup baik dalam menggunakan pestisida. Pengetahuan yang kurang tepat dalam penggunaan pestisida akan berpengaruh pada perilaku atau praktik yang kurang tepat oleh petani di lahan pertanian. Hal tersebut tentunya akan berdampak pada kesehatan lingkungan maupun kesehatan petani sendiri.

Penggunaan pestisida yang tidak bijaksana dapat menimbulkan berbagai macam penyakit. Menurut *World Health Organization* (WHO), selama beberapa tahun terakhir ini banyak bermunculan penyakit akibat keracunan zat kimia yang digunakan untuk pertanian (pestisida dan pupuk kimia). Hal ini disebabkan pestisida yang disemprotkan ke tanaman akan masuk dan meresap ke dalam sel-sel tumbuhan, termasuk ke bagian akar, batang, daun, dan buah. Jika buah atau daun ini termakan oleh manusia, maka racun atau residu bahan kimia beracun ikut masuk

ke dalam tubuh manusia. Pestisida kimia merupakan zat beracun yang sangat berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan. Hal ini disebabkan pestisida bersifat polutan dan dapat menyebarkan radikal bebas. Radikal bebas dan pestisida dapat menyebabkan kerusakan organ tubuh, seperti mutasi gen dan gangguan susunan saraf pusat. Selain itu, residu bahan kimia beracun yang tertinggal pada produk pertanian dapat memicu kerusakan sel, penuaan dini, dan munculnya penyakit degeneratif (Soenandar dkk., 2010).

Keracunan pestisida tidak hanya dapat terjadi karena paparan langsung oleh pestisida (menghirup, terkena percikan atau menyentuh sisa pestisida), yang umumnya sudah diketahui oleh banyak orang. Tetapi keracunan bisa terjadi pula, lantaran manusia mengkonsumsi bahan-bahan makanan yang mengandung residu pestisida dalam jumlah yang cukup tinggi, melebihi suatu batas maksimal. Residu pestisida yang terkandung dalam tanaman disebabkan oleh pestisida yang diaplikasikan langsung pada tanaman untuk mengatasi organisme pengganggu tanaman (OPT). Di Indonesia, kadar residu pestisida yang terkandung berada dalam tingkat yang cukup memprihatinkan. Dampak secara tidak langsung dirasakan oleh manusia, oleh adanya penumpukan pestisida di dalam darah yang berbentuk gangguan metabolisme enzim *asetilkolinesterase (AChE)*, bersifat karsinogenik yang dapat merangsang sistem saraf menyebabkan paresthesia, peka terhadap perangsangan, tremor, iritabilitas, terganggunya keseimbangan dan kejang-kejang (Lu, 1995).

Pestisida terbagi berdasarkan hama atau OPT yang mengganggu produktivitas tanaman. Masing-masing OPT pun memiliki ciri khas dalam

menyerang suatu tanaman. Diantara berbagai macam jenis zat yang terkandung dalam pestisida, terdapat zat yang bernama organofosfat. Pestisida jenis organofosfat adalah jenis yang paling banyak digunakan oleh petani dalam membasmi serangga dan dianggap efektivitasnya paling tinggi. Namun, pestisida jenis organofosfat juga merupakan salah satu penyebab keracunan yang sering terjadi di dunia dibanding jenis lainnya dengan prevalensi mencapai satu juta kasus pertahunnya (Zulfania et al., 2017).

Jenis pestisida organofosfat memiliki banyak jenis senyawa. Senyawa organofosfat yang paling banyak digunakan oleh petani Indonesia ialah diazinon, dimetoat dan klorpirifos (Syahbirin, 2001). Senyawa klorpirifos dapat menyebabkan penyakit kronis maupun akut dikarenakan tingkat toksisitasnya yang begitu tinggi. Diteliti oleh Sutamihardja dkk. (2017), yang bertujuan untuk mengidentifikasi tingkat toksisitas dari pestisida organofosfat dan profenofos terhadap ikan nila terindikasi bahwa kedua pestisida tersebut memiliki daya racun yang tinggi.

Desa Baroko, Kecamatan Baroko, Kabupaten Enrekang adalah desa yang memiliki penduduk sebagian besar melakukan mata pencaharian sebagai petani khususnya petani sayuran. Secara garis besar terdapat tiga jenis petani yang berada di Desa Baroko Kabupaten Enrekang, yaitu petani pemilik lahan, petani penggarap dan buruh tani. Usaha pertanian memerlukan luas tanah yang luas untuk bercocok tanam. Di lihat dari aneka jenis tanaman sayuran yang diusahakan dan luas sempitnya lahan yang ada dan diusahakan setiap petani tersebut, akan menentukan besar kecilnya penghasilan petani dan hanya jenis sayuran yang dihasilkan dari

jenis tanaman sayuran yang diusahakan dalam pemenuhan dan kelangsungan hidup petani (Pramita dkk., 2019).

Penduduk di daerah ini, memiliki jenis usaha tani yang berfokus pada tanaman pangan pokok seperti sayuran seperti, cabai, bawang merah, kol, kentang, wortel, daun bawang, buncis, dan tomat (Sari, 2019). Tomat merupakan salah satu tanaman pangan yang selalu ditanam dan dibuat olahan produk pangan seperti saus tomat. Seperti tanaman pangan lainnya, tomat juga tidak lepas dari penggunaan pestisida. Kandungan pestisida pada tomat terdeteksi di lahan greenhouse yang terletak di Beijing Cina yang diteliti oleh Han, dkk (2012). Dari sejumlah tomat yang diperiksa dimasukkan sampel sebanyak 0.05, 0.1, dan 0.5 mg/L, masing-masing mengandung klorpirifos diatas 50%.

Pendeteksian pestisida klorpirifos juga dilakukan di Bangladesh oleh Alam, dkk (2019). Sampel budidaya tomat yang telah diberi pestisida diperiksa di Laboratorium, dan menunjukkan hasil dari 20 g tomat yang diperiksa mengandung 44.124 ppm residu pestisida klorpirifos. Selain itu, pada tahun 1999, Aysal dkk. meneliti khusus kandungan residu pestisida dalam tomat dan produk olahan tomat di California. Peneliti mendapatkan setiap tomat dan produk olahan tomat mengandung residu pestisida diatas 85%.

Maka dari itu, berdasarkan beberapa hasil penelitian diatas menunjukkan bahwa penggunaan pestisida dapat berdampak pada kesehatan petani, konsumen dan lingkungan khususnya pada pestisida klorpirifos, Maka peneliti akan meneliti residu pestisida klorpirifos pada tomat yang terdapat di Kab. Enrekang khususnya di Desa Baroko sebagai produsen pertanian terbesar. Pada penelitian ini juga akan

mengkaji alur pajanan pestisida klorpirifos yang masuk ke tubuh petani berbasis analisis risiko yaitu melalui tahap identifikasi bahaya, penentuan *dose response*, penilaian pajanan hingga penentuan karakteristik risiko dilihat dari nilai RQ (*Risk Quotient*).

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang tersebut, maka dalam penelitian ini memiliki rumusan masalah “Bagaimana tingkat risiko kesehatan akibat paparan pestisida *klorpirifos* pada petani di Kecamatan Baroko, Kabupaten Enrekang?”.

C. Tujuan Penelitian

1. Tujuan Umum

Untuk mengetahui risiko kesehatan pada petani akibat paparan pestisida di Kecamatan Baroko, Kabupaten Enrekang.

2. Tujuan Khusus

- a. Untuk mengetahui konsentrasi residu pestisida klorpirifos dalam buah tomat yang ditanam oleh petani Tomat Desa Baroko Kecamatan Baroko, Kabupaten Enrekang.
- b. Untuk mengetahui karakteristik petani dalam menggunakan pestisida *klorpirifos* di Kecamatan Baroko, Kabupaten Enrekang.
- c. Menganalisis nilai *intake* ingesti paparan pestisida *klorpirifos* pada petani cabai di Kecamatan Baroko, Kabupaten Enrekang.
- d. Menganalisis nilai *Risk Quotient* (RQ) akibat paparan pestisida *klorpirifos* pada petani di Kecamatan Baroko, Kabupaten Enrekang.

- e. Menganalisis nilai *Target Hazard Quotient* (THQ) akibat paparan pestisida *klorpirifos* pada petani di Kecamatan Baroko, Kabupaten Enrekang.

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi sejumlah pihak antara lain:

1. Bagi Institusi Pendidikan

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat sebagai referensi untuk penelitian Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) yang lain atau penelitian terkait pestisida *klorpirifos* pada petani.

2. Bagi Institusi Kesehatan dan Pertanian

Hasil penelitian ini dapat mengukur risiko kesehatan terhadap petani di Kecamatan Baroko, Kabupaten Enrekang, sehingga dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam menentukan kebijakan penggunaan pestisida untuk Dinas Pertanian serta pelayanan kesehatan untuk mencegah keracunan akibat penyalahgunaan pestisida di Dinas Kesehatan.

3. Bagi Masyarakat

Menambah pengetahuan petani tentang risiko lingkungan terhadap penggunaan pestisida di bidang pertanian, sehingga diharapkan dapat memilih serta menggunakan pestisida secara tepat dan aman.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan Umum tentang Risiko

Risiko adalah kemungkinan terjadinya suatu peristiwa. Dalam epidemiologi, ini paling sering digunakan untuk menyatakan kemungkinan bahwa hasil tertentu akan terjadi setelah paparan tertentu. sangat sedikit kondisi yang merupakan penyebab yang cukup pada penyakit kronis dan infeksi (penyebab yang cukup adalah salah satu di mana paparan spesifik akan selalu menghasilkan hasil tertentu). Jika ada, tidak perlu berurusan dengan risiko, yang sering kali berhubungan dengan berbagai tingkat penyebab yang diperlukan (penyebab yang diperlukan menjadi eksposur yang harus selalu mendahului hasil tertentu), meskipun juga dapat menangani eksposur yang tidak perlu. maupun penyebab yang cukup (Sweeting, 2011).

Pedoman Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan yang diterbitkan oleh Ditjen PP dan PL menjelaskan, risiko merupakan kemungkinan atau kebolehjadian dari suatu dampak buruk pada organisme, sistem, atau sub / populasi timbul akibat (disebabkan) oleh terpajan suatu agen pada kondisi tertentu. Risiko dapat dikatakan merupakan akibat yang mungkin terjadi secara tak terduga. Walaupun suatu kegiatan telah direncanakan sebaik mungkin, namun tetap mengandung ketidakpastian bahwa nanti akan berjalan sepenuhnya sesuai rencana. Risiko juga dapat dikaitkan dengan kemungkinan (probabilitas), terjadinya peristiwa diluar yang diharapkan.

Risiko dapat digolongkan menurut berbagai sudut pandang, tergantung dari kebutuhan dalam penanganannya :

1. Risiko murni dan risiko spekulatif (Pure risk and speculative risk) dimana risiko murni dianggap sebagai suatu ketidakpastian yang dikaitkan dengan adanya suatu luaran (outcome) yaitu kerugian. Contoh risiko murni kecelakaan kerja di proyek. Karena itu risiko murni dikenal dengan nama risiko statis. Risiko spekulatif mengandung dua keluaran yaitu kerugian (loss) dan keuntungan (gain). Risiko spekulatif dikenal sebagai risiko dinamis. Contoh risiko spekulatif pada perusahaan asuransi jika risiko yang dijamin terjadi maka pihak asuransi akan mengalami kerugian karena harus menanggung uang pertanggungan sebesar nilai kerugian yang terjadi tetapi bila risiko yang dijamin tidak terjadi maka perusahaan akan memperoleh keuntungan.

2. Risiko terhadap benda dan manusia, dimana risiko terhadap benda adalah risiko yang menimpa benda seperti rumah terbakar sedangkan risiko terhadap manusia adalah risiko yang menimpa manusia seperti risiko hari tua, kematian dsb.

3. Risiko fundamental dan risiko khusus (fundamental risk and particular risk). Risiko fundamental adalah risiko yang kemungkinannya dapat timbul pada hampir sebagian besar anggota masyarakat dan tidak dapat disalahkan pada seseorang atau beberapa orang sebagai penyebabnya, contoh risiko fundamental: bencana alam, peperangan.

4. Risiko khusus adalah risiko yang bersumber dari peristiwa peristiwa, yang mandiri dimana sifat dari risiko ini adalah tidak selalu bersifat bencana, bisa dikendalikan atau umumnya dapat diasuransikan.

Ruang lingkup pembahasan risiko tidak hanya membahas definisi ataupun jenis-jenisnya. Terdapat pengelompokan risiko berdasarkan tipenya yaitu (Fahmi I, 2013):

1. Risiko murni (pure risk)

Risiko dimana kemungkinan kerugian ada, tetapi kemungkinan keuntungan tidak ada. Jadi risiko yang dibahas sudah pasti berpotensi merugikan. Contoh risiko murni adalah kecelakaan, kebakaran, banjir, bencana alam.

2. Risiko spekulatif

Risiko dimana kita mengharapkan terjadinya kerugian dan juga keuntungan. Potensi keuntungan dan kerugian dibicarakan dalam jenis risiko ini. Contoh risiko spekulatif adalah risiko bisnis.

3. Risiko dinamis

Risiko ini muncul dari perubahan kondisi tertentu, contoh: perubahan kondisi masyarakat, perubahan teknologi sehingga memunculkan jenis-jenis risiko yang baru

4. Risiko statis

Risiko yang muncul dari kondisi alam tertentu, contoh: bencana alam, kebakaran, banjir, dll. Karakteristik risiko ini praktis tidak berubah dari waktu ke waktu.

5. Risiko operasional

Risiko operasional merupakan risiko yang umumnya bersumber dari masalah internal perusahaan, dimana risiko ini terjadi disebabkan oleh lemahnya sistem kontrol manajemen (management control system) yang dilakukan oleh pihak internal perusahaan.

Risiko juga digolongkan berdasarkan tingkatannya (Ramli, 2010):

| Likelihood | Severity | Negligible (1) | Minor (2) | Moderate (3) | Major (4) | Extrime (5) |
|--------------------|--------------|----------------|--------------|-----------------|-----------------|-------------|
| | | Rare (1) | Low (1x1) | Low (1x2) | Low (1x3) | Low (1x4) |
| Unlikely (2) | Low (2x1) | Low (2x2) | Medium (2x3) | Medium (2x4) | High (2x5) | |
| Possible (3) | Low (3x1) | Medium (5x2) | Medium (3x3) | High (3x4) | High (3x5) | |
| Likely (4) | Low (4x1) | Medium (5x2) | High (4x3) | High (4x4) | Very High (4x5) | |
| Almost Certain (5) | Medium (5x1) | High (5x2) | High (5x3) | Very High (5x4) | Very High (5x5) | |

Berikut ini merupakan matriks risiko yang dapat diinterpretasikan bahwa risiko disebabkan oleh kemungkinan (likelihood) dan keparahan (severity).

Skala pengukuran risikonya sebagai berikut:

1. Rare : Jarang terjadi
2. Unlikely : Cenderung dapat terjadi di suatu waktu
3. Moderate : Moderat, seharusnya terjadi di suatu waktu
4. Likely : Kemungkinan akan terjadi di semua situasi
5. Almost certain : Hampir pasti terjadi dan akan terjadi di semua situasi

Serta skala pengukuran analisa konsekuensinya adalah sebagai berikut:

Negligible : tanpa kecelakaan manusia dan kerugian materi.

Minor : bantuan kecelakaan awal, kerugian materi yang medium.

Moderat : diharuskan penanganan secara medis, kerugian materi yang cukup tinggi.

Major : kecelakaan yang berat, kehilangan kemampuan operasi/ produksi, kerugian materi yang tinggi.

Extrime : bahaya radiasi dengan efek penyebaran yang luas, kerugian yang sangat besar.

B. Tinjauan Umum tentang Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan

Analisis risiko digunakan untuk menilai atau menaksir risiko kesehatan manusia yang disebabkan oleh pajanan bahaya lingkungan. Bahaya tidak sama dengan risiko. Bahaya didefinisikan sebagai sifat yang melekat pada suatu agen risiko atau situasi yang berpotensi menimbulkan efek merugikan pada organisme, sistem, atau sub sistem yang terpajan agen tersebut (IPCS, 2004). Bahaya juga didefinisikan sebagai sumber, situasi atau tindakan yang berpotensi menciderai manusia atau sakit'penyakit atau kombinasi dan semuanya (Ramli, 2010). Bahaya merupakan suatu potensi risiko dan risiko tidak akan terjadi kecuali syarat-syarat tertentu telah terpenuhi. yang meliputi toksisitas agen dan pola pajanannya. Suatu agen risiko walaupun bersifat toksik dapat berisiko terhadap kesehatan jika tidak memajani dengan dosis dan waktu tertentu.

Analisis risiko bisa dilakukan untuk pemajanan bahaya lingkungan yang telah lampau (*post exposure*), dengan efek yang merugikan sudah atau belum

terjadi. Dapat juga dilakukan sebagai suatu prediksi risiko untuk pemajanan yang akan datang (Rahman, 2007). Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan adalah kajian kilas depan dengan meramalkan risiko kesehatan yang bisa menimpa masyarakat pada suatu waktu atau sebuah proses yang dimaksudkan untuk menghitung atau memprakirakan risiko pada kesehatan manusia, termasuk juga identifikasi terhadap keberadaan faktor ketidakpastian. Penelusuran pada pajanan tertentu. Memperhitungkan karakteristik yang melekat pada agen yang menjadi perhatian dan karakteristik dan sasaran yang spesifik (Direktur Jendral PP dan PL Kementerian Kesehatan, 2012).

Analisis risiko kesehatan (*Health Risk Assessment*) adalah suatu proses memperkirakan besaran masalah kesehatan dan akibat yang ditimbulkannya pada suatu waktu tertentu (Direktur Jendral PP dan PL Kementerian Kesehatan, 2012). Analisis risiko terdiri dari empat tahap kajian, yaitu identifikasi bahaya (*Hazard Potential Identification*), analisis dosis-respon (*Dose-Response Assessment*), analisis pajanan (*Exposure Assessment*), dan karakteristik risiko (*Risk characterization*), yang kemudian dilanjutkan dengan manajemen risiko dan komunikasi risiko (Rahman, 2007).

1. Identifikasi Bahaya (*Hazard Potential Identification*)

Identifikasi bahaya (*Hazard Identification*) merupakan langkah awal dalam Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan yang digunakan untuk mengetahui secara spesifik agen risiko yang berpotensi menyebabkan gangguan kesehatan bila tubuh terpajan. Identifikasi bahaya adalah langkah identifikasi terhadap jenis dan sifat serta kemampuan yang melekat pada

suatu agen risiko yang dapat menyebabkan dampak buruk organisme, sistem atau sub populasi (Direktur Jendral PP dan PL Kementerian Kesehatan, 2012). Louvar dan Louvar (1998) mendefinisikan identifikasi bahaya sebagai suatu proses mengenal dan mengetahui semua jenis bahaya dan suatu sumber dan potensinya untuk dapat menimbulkan bahaya bagi individu atau lingkungan.

2. Analisis Dosis-Respon (*Dose-Response Assessment*)

Analisis dosis-respon merupakan suatu proses untuk menentukan hubungan antara dosis suatu agen dengan efek terhadap kesehatan atau analisis hubungan antara jumlah total suatu agen yang diberikan, diterima, atau diserap oleh suatu organisme. Dosis adalah jumlah total suatu agen yang diberikan, diterima, atau diserap oleh suatu organisme, sistem, atau sub-populasi, dengan perubahan yang terjadi pada suatu organisme, sistem, atau sub-populasi (Direktur Jendral PP dan PL Kementerian Kesehatan, 2012).

Analisis dosis-respon (*Dose-Response Assessment*) dilakukan untuk menetapkan nilai-nilai kuantitatif toksisitas suatu *Risk Agent* untuk setiap bentuk spesi kimia. Toksisitas dinyatakan sebagai dosis referensi. Dosis referensi dibedakan yaitu pajanan oral (makanan dan minuman) yang disebut RID atau *Reference Dose* dan pajanan inhalasi (udara) disebut RIC atau *Reference Concentration* untuk efek-efek non karsinogenik dan *Slope Factor (SF)* atau *Unit Risk (UR)* untuk efek-efek karsinogenik. Dalam analisis dosis-respon dosis dinyatakan sebagai Risk Agent yang

terhirup (*inhaled*), tertelan (*ingested*), atau terserap melalui kulit (*absorbed*) per kg berat badan per hari (mg/kg/hari) (Kadar et al., 2017). Data-data RID dan RfC zat-zat kimia dalam berbagai spesi termasuk formulanya. Telah tersedia dalam IRIS (*Integrated Risk Information System*). Nilai RIC dan RJD bukan merupakan dosis mutlak, namun hanya referensi. Jika dosis yang diterima melebihi RIC atau RJD, maka peluang untuk mendapatkan risiko menjadi lebih besar. Tujuan adanya analisis dosis respon adalah sebagai berikut:

- a. Mengetahui jalur pajanan (*pathways*) dan suatu agen risiko masuk ke dalam tubuh manusia.
- b. Memahami perubahan gejala atau efek kesehatan yang terjadi akibat peningkatan konsentrasi atau dosis agen risiko yang masuk ke dalam tubuh.
- c. Mengetahui dosis referensi (RID) atau konsentrasi referensi (RfC) atau *Slope Factor* (SF) dan agen risiko tersebut.

3. Analisis Pajanan (*Exposure Assessment*)

Pajanan adalah konsentrasi atau jumlah kuantitatif agen risiko yang memapari organisme, sistem atau sub populasi dengan frekuensi dan durasi pajanan tertentu (IPCS. 2005). Rahman (2007) menyatakan, Analisis pajanan bertujuan untuk mengenali jalur pajanan agen berisiko agar kemudian intake yang diterima individu dalam populasi berisiko dapat dihitung. *Intake* adalah jumlah asupan yang diterima individu per

berat badan per hari. *Risk agent* dapat berada di tanah, air, makanan dan udara.

Data intake didapatkan menggunakan persamaan Louvar dan Louvar (1998) sebagai berikut:

$$I = \frac{C \times R \times t_E \times f_E \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$$

Keterangan:

- I : Asupan/*intake* (mg/kg/hari)
- C : Konsentrasi agen risiko (mg/kg untuk makanan)
- R : Laju asupan atau konsumsi, mg/kg/hari untuk ingesti
- t_E : Waktu pajanan (jam/hari)
- f_E : Frekuensi pajanan (hari/tahun)
- D_t : Durasi pajanan, (tahun)
- W_b : Berat badan (kg)
- t_{avg} : Periode waktu rata-rata (30 × 365 hari/tahun untuk zat non karsinogen, 70 tahun × 365 hari/tahun untuk zat karsinogen)

Dalam Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Lengkap, data dan informasi mengenai C, R, (f_E , DL dan W_b) dikumpulkan dan populasi berisiko setempat dengan survei dan pengukuran. Waktu pajanan (t_E) didapat dengan cara menanyakan berapa lama kebiasaan responden sehari-hari berada di tempat kerja. Demikian juga untuk frekuensi pajanan (f_E), berapa lama responden setiap tahun berada di tempat kerja. Untuk durasi pajanan (D_t), diketahui dan lama sesungguhnya (*realtime*)

responden berada di tempat kerja sampai saat survei dilakukan dalam hitungan tahun (Rahman, 2007).

4. Karakteristik Risiko (*Risk characterization*)

Karakteristik risiko adalah perhitungan kualitatif, jika memungkinkan secara kuantitatif, meliputi probabilitas terjadinya potensi dampak buruk suatu agen pada organisme, sistem atau sub populasi beserta faktor ketidakpastiannya (Direktur Jendral PP dan PL Kementerian Kesehatan, 2012). Karakterisasi risiko dilakukan untuk menetapkan tingkat risiko atau menentukan apakah agen risiko pada konsentrasi tertentu yang dianalisis pada Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan berisiko menimbulkan gangguan kesehatan pada responden (Dengan karakteristik konsentrasi, laju paparan, waktu, frekuensi dan durasi pajanan) atau tidak. Karakteristik risiko dilakukan dengan membandingkan atau membagi *Intake* dengan dosis atau konsentrasi agen risiko tersebut. Variabel yang digunakan untuk menghitung tingkat risiko adalah *Intake* dan dosis referensi yang didapat dan studi kepustakaan. Perhitungan karakteristik risiko terbagi menjadi dua, yaitu:

a. Karakteristik Risiko pada Efek Non Karsinogenik

Tingkat risiko untuk efek non karsinogenik dinyatakan dalam notasi *Risk Quotient* (RQ). Untuk melakukan karakterisasi risiko untuk efek non karsinogenik dilakukan perhitungan dengan membandingkan/membagi intake dengan RIC atau RfD.

$$RQ = \frac{I_{nk}}{RfD \text{ atau } RfC}$$

Keterangan:

RQ : *Risk Quotient*

I_{nk} : Asupan non karsinogenik

RfD : *Reference Dose*

RfC : *Reference Concentration*

Tingkat risiko dipresentasikan dalam angka atau bilangan decimal tanpa satuan supaya lebih sederhana dan dapat dipahami oleh masyarakat. Tingkat risiko dikatakan aman apabila Intake \leq RfC atau dinyatakan dengan $RQ \leq 1$. Tingkat risiko dikatakan tidak aman apabila Intake $>$ R/C atau dinyatakan dengan $RQ > 1$ (Kemenkes RI, 2012).

b. Karakteristik Risiko pada Efek Karsinogenik

Tingkat risiko untuk efek karsinogenik dinyatakan dalam notasi *Excess Cancer Risk* (ECR). Untuk melakukan karakteristik risiko pada efek karsinogenik dilakukan dengan mengalikan *intake* dengan Slope Factor. Rumus ECR adalah sebagai berikut:

$$ECR = CSF \times I_k$$

Keterangan:

ECR : *Excess Cancer Risk*

CSF : *Cancer Slope Factor*

I_k : Asupan karsinogenik

Tingkat risiko karsinogenik dinyatakan dalam bilangan exponent tanpa satuan. Tingkat risiko dikatakan aman apabila nilai $ECR \leq E^{-4}$ (10^{-4}) atau dinyatakan dengan $ECR < 1/10.000$. Tingkat risiko dikatakan tidak aman apabila nilai $ECR > E^4$ (10) atau dinyatakan dengan $ECR > 1/10.000$ (Kementrian Kesehatan RI, 2012).

5. Pengendalian Risiko

Pengendalian risiko adalah pilihan-pilihan yang dilakukan untuk memperkecil risiko dampak paparan *Risk Agent* terhadap kesehatan pekerja, dengan cara mengubah nilai faktor-faktor paparan, sehingga asupan lebih kecil atau sama dengan dosis referensi toksisitasnya. yang pada dasarnya hanya ada dua cara untuk menyamakan Inake dengan RIQ, yaitu dengan menurunkan konsentrasi Risk Agent atau mengurangi waktu kontak (Rahman, 2007).

C. Tinjauan Umum tentang Tomat

Tomat (*Solanum lycopersicum*) adalah tanaman yang berasal dari Benua Amerika, penyebarannya dimulai dari Amerika Tengah hingga Amerika Selatan. Tanaman memiliki nama julukan yang bermacam. Orang Inggris menyebutnya 'apel beracun' sedangkan orang Perancis menyebutnya dengan 'apel cinta' dan orang Jerman menyebutnya dengan Apel Surga. Hingga pertengahan tahun 1821 orang-orang mulai menggunakan tomat sebagai campuran bahan masakan terutama pada seafood. Di Indonesia, tomat sendiri mulai tersebar mulai dari Filipina dan negara-negara Asia lain pada Abad ke-18. Awalnya, produktivitas dari tanaman ini masih rendah dan buahnya pun masih tergolong kecil

dibandingkan sekarang. Kondisi sekarang, tomat bisa dihasilkan hingga 4 kg per buah bahkan sampai 5-8 kg per buah (Wiryanta, 2002).

Secara sistematis para ahli botani mengklasifikasikan tanaman tomat sebagai berikut: (Supriyadi, 2010: 4)

Kingdom : Plantae

Divisio : Spermatophyta

Sub division : Angiospermae

Klas (class) : Dicotyledoneae

Sub Klas : Ordo

Bangsa (ordo) : Tubiflorae

Suku (famili) : Solanaceae

Marga (genus): Lycopersicon atau Lycopersicum

Jenis (spesies) : Lycopersicon lycopersicum (L) Karst atau

Lycopersicon esculentum Mill

Rupanya polemik ini memakan waktu cukup lama sebab pada tahun 1900 Kasten, seorang ahli taksonomi, mengajukan satu nama lagi yaitu *Lycopersicon lycopersicum*. Akhirnya pada tahun 1983 badan internasional yang menangani pemberian nama ilmiah (International Code of Botanical Nomenclature) memutuskan bahwa nama ilmiah resmi untuk tomat adalah *Lycopersicon* untuk nama genusnya dan *lycopersicum* untuk nama spesifikasinya sehingga secara lengkap adalah *Lycopersicon lycopersicum*(L). Akan tetapi, saat ini nama yang paling populer untuk tanaman tomat adalah *Lycopersicon esculentum* Mill.

Tanaman tomat adalah tanaman yang tumbuh dalam kurun waktu setahun, berbentuk perdu atau semak, dan termasuk dalam golongan tanaman berbunga (Angiospermae). Adapun bentuk batangnya segi empat hingga bulat. Memiliki akar tunggang dengan akar samping yang menjalar di seluruh permukaan bagian atas. Bunga tomat memiliki dua jenis dengan 5 kelopak berwarna hijau berbulu dan 2 buah daun mahkota berwarna kuning. Hampir semua bagian tanaman tomat memiliki bulu halus bahkan ada pula yang tajam, kecuali pada mahkota dan akarnya. Bentuk tomat ada bermacam-macam dan terbagi dari beberapa tipe (Tugiyono, 1999):

1. Tomat biasa (*Lycopersicum commune*)

Bentuk buahnya bulat pipih, bentuknya tidak teratur. Jenis tomat ini sangat cocok ditanam di daerah dataran rendah.

2. Tomat apel (*Lycopersicum pyriforme*)

Bentuk buahnya bulat, kuat, sedikit keras menyerupai buah apel (peer). Tanaman ini sangat cocok ditanam di daerah pegunungan. Kedua jenis tomat inilah yang sering ditemukan di pasar-pasar.

3. Tomat kentang (*Lycopersicum grandifolium*)

Buahnya berbentuk bulat, besar, padat, menyerupai buah apel, tetapi agak kecil, dan daunnya lebar-lebar.

4. Tomat keriting (*Lycopersicum validum*)

Buahnya berbentuk agak lonjong keras seperti alpukat atau pepaya yang dikenal tipe roma. Tomat ini disebut tomat gondol, yang disenangi karena kulitnya tebal. Tomat jenis ini tahan pengangkutan jarak jauh. Daunnya

rimbun keriting seperti terserang oleh penyakit virus keriting. Daunnya berwarna hijau kelam.

Tomat tergolong jenis tanaman berbentuk perdu atau semak. Tomat dapat memiliki panjang hingga dua meter. Tidak sekeras tanaman tahunan, namun tanaman tomat memiliki batang yang cukup kuat. Permukaan tumbuhannya ditumbuhi bulu-bulu halus, utamanya bagian yang berwarna hijau. Bagian buku-bukunya terkadang terjadi penebalan kadang pada buku bagian bawah yang terdapat akar-akar pendek (Trisnawati dan setiawan, 1994 dalam Supriyadi, 2010: 5).

Tomat memiliki banyak sekali keunggulan. Diantaranya adalah rasa buahnya yang asam manis seakan memberikan kesegaran pada tubuh. Dalam tomat terkandung vitamin dan mineral yang berguna untuk kesehatan dan pertumbuhan. Tomat juga mengandung zat pembangun jaringan tubuh yang berfungsi untuk menggerakkan tubuh dan berpikir yaitu karbohidrat, protein, lemak, dan kalori. Tomat juga merupakan sumber vitamin C yang berguna untuk meningkatkan kekebalan tubuh serta mengobati berbagai macam penyakit, seperti kulit yang kering. Tomat juga mengandung serat untuk membantu penyerapan makanan dalam pencernaan serta mengandung potasium yang bermanfaat untuk menurunkan tekanan darah tinggi (Supriati & Siregar, 2015).

D. Tinjauan Umum tentang Petani Tomat

Petani merupakan orang-orang desa yang mengendalikan dan mengolah tanah untuk menyambung hidupnya dan sebagai suatu bagian dari ciri hidup lama yang melihat kepada dan dipengaruhi oleh kaum bangsawan atau atau orang kota yang

cara hidupnya serupa dengan mereka namun dalam bentuk yang lebih berbudaya. Secara geografis, mayoritas petani berkediaman di pedesaan. Mereka membentuk kelompok dan mengolah lahan pertanian serta memanfaatkan hasil-hasil pertanian sekedar untuk memenuhi kehidupan mereka. Marzali (1999) berpendapat bahwa petani hidup sebagai masyarakat yang membentuk komunitas-komunitas yang mengelola tanah dengan bantuan keluarga sendiri.

Scott (1993) berpendapat bahwa petani dalam melakukan kegiatan bertani cenderung enggan mengambil risiko dan lebih memfokuskan diri pada usaha yang menghindarkan jatuhnya produksi, bukan usaha yang memaksimalkan keuntungan-keuntungan harga. Petani menurut Anwas mengemukakan bahwa petani adalah orang yang melakukan cocok tanam dari lahan pertaniannya atau memelihara ternak dengan tujuan untuk memperoleh kehidupan dari kegiatan itu. Sedangkan pertanian adalah kegiatan manusia mengusahakan terus dengan maksud memperoleh hasil-hasil tanaman ataupun hasil hewan, tanpa mengakibatkan kerusakan alam. Dalam hal ini Petani tomat merupakan orang-orang yang melakukan cocok tanam buah tomat.

E. Tinjauan Umum tentang Pestisida

Sejak ribuan tahun lalu pestisida telah dikenal dalam peradaban manusia, tercatat di Yunani dan Romawi kuno, Mesir, serta Cina menggunakan resep-resep kimia tertentu untuk mengusir hama/binatang tertentu. Para pendeta Pagan (penyembah berhala) 2000-an SM telah menggunakan sulfur (belerang) sebagai obat dan digunakan sebagai fumigan, zat pemutih, dan dupa dalam ritual keagamaan. Orang Romawi menggunakan sulfur atau asap pembakarannya

untuk membersihkan ruangan yang "sakit" dan membersihkan udara (di ruangan "sakit" tersebut) yang dianggap dari setan. Pada peradaban Mesir kuno, ilmuwan saat itu menuliskan lebih dari 800 resep yang memiliki fungsi seperti pestisida pada lembaran-lembaran *Papyrus (The Ebers Papyrus)* sekitar tahun 1550 SM (Sudarmo, 1991).

Menurut *World Health Organization (WHO)*, pestisida merupakan senyawa-senyawa kimia yang digunakan untuk membunuh hama, diantaranya serangga, hewan pengerat, jamur, dan tanaman yang tidak diinginkan (gulma). Bidang kesehatan menggunakan pestisida untuk membasmi vektor-vektor penyakit (seperti nyamuk, kecoa, lalat), sedangkan di bidang pertanian, pestisida berperan untuk mencegah kerusakan tanaman dari organisme pengganggu tanaman bahkan memusnahkannya, Walaupun demikian pestisida memiliki potensi sebagai racun bagi organisme lain termasuk manusia, maka perlu digunakan dengan hati-hati dan dibuang dengan benar (Purnomo dkk., 2019).

Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 258 Tahun 1992 tentang Persyaratan Kesehatan Pengelolaan Pestisida, pestisida adalah semua zat kimia/bahan lain serta jasad renik dan virus yang digunakan untuk memberantas atau mencegah hama-hama dan penyakit yang merusak tanaman, bagian-bagian tanaman atau hasil pertanian, memberantas gulma, mengatur/merangsang pertumbuhan tanaman tidak termasuk pupuk, mematikan dan mencegah hama-hama liar pada hewan-hewan peliharaan dan ternak, mencegah/memberantas hama-hama air, memberantas/mencegah binatang-binatang dan jasad renik dalam rumah tangga, bangunan dan alat – alat angkutan,

memberantas dan mencegah binatang-binatang termasuk serangga yang dapat menyebabkan penyakit pada manusia atau hewan yang dilindungi dengan penggunaan pada tanah, air, dan tanaman.

Istilah pestisida merupakan terjemahan dari *pesticide* (Inggris) yang berasal dari bahasa latin *pestis* dan *caedo* yang biasa diterjemahkan secara bebas menjadi racun untuk mengendalikan jasad pengganggu (Wudianto, 2007). Sektor yang sering menggunakan pestisida dalam pembangunannya adalah pertanian, kesehatan masyarakat, industri dan perdagangan. Sektor pertanian menggunakan pestisida dalam mendukung tercapainya hasil yang memuaskan. Salah satu sarana yang mendukung adalah pestisida. Pestisida mencakup bahan-bahan racun yang digunakan untuk membunuh jasad hidup mengganggu tumbuhan, ternak dan sebagainya untuk kesejahteraan hidup manusia (Djojsumarto, 2008). Penggunaan pestisida yang berlebihan akan meningkatkan biaya pengendalian, mempertinggi kematian organisme non target serta dapat menurunkan kualitas lingkungan (Laba, 2010). Perubahan iklim yang terjadi dapat meningkatkan penggunaan bahan aktif pestisida yang diprediksi sekitar 60% hingga tahun 2100 (Koleva *et al.*, 2009).

F. Tinjauan Umum tentang Penggolongan Pestisida

Pestisida dapat digolongkan dalam beberapa kategori yaitu jenis/asal bahan bakunya, macam fungsinya atau jenis target organisme yang akan dihilangkan, tingkat toksisitasnya, jenis senyawa penyusunnya, atau jenis bentuk fisiknya. Pestisida dapat dibedakan berdasarkan jenis/asal bakunya. Yaitu pestisida alami dan pestisida buatan/kimia. Pestisida buatan dan kimia dibuat dari bahan-bahan

kimia yang diproses di pabrik atau laboratorium kimia. Pestisida alami dapat dibuat dari berbagai jenis tanaman. Pestisida nabati atau alami juga kadang disebut sebagai pestisida organik atau biopestisida contoh-contoh tanaman dan bagiannya yang berpotensi sebagai pestisida nabati diantaranya biji adas, rimpang alang-alang, umbi bawang-bawangan, batang brotowali, buah cabe, bunga cengkeh, buah dan biji jarak, daun dan biji mimba, bunga piretrum, daun dan batang tembakau, dan lain sebagainya (Kurniawan, 2019).

Terdapat 3 kelompok utama pestisida buatan antara lain Organoklorin, (Dieldrin, Chlordan, Aldrin, DDT, dan Heptaklor), Organofosfat (Diazinon, Malation, Dimetoat dan Klorpirifos), dan Karbamat (Karbaril, Karbofuran, dan Metomil). Menurut penelitian yang dikemukakan oleh Zhang *et al.* (2007) pestisida kelompok organoklorin, organofosfat, dan piretroid merupakan jenis pestisida yang paling banyak digunakan secara ekstensif di pasar Cina, sedangkan menurut Yang dan Fang dalam Bai *et al.* (2006), penggunaan pestisida jenis Organoklorin sudah dilarang sejak tahun 1983.

Pestisida dapat juga dikategorikan berdasarkan fungsinya atau organisme target yang akan dibasmi Oleh pestisida, jenis ini dapat dibedakan menjadi 10 kelompok yaitu:

1. Insektisida: merupakan zat kimia dan bahan lainnya, jasad renik maupun virus yang digunakan untuk memberantas atau mencegah serangga yang dapat menyebabkan penyakit pada manusia (Hendri, dkk. 2016). Insektisida merupakan golongan pestisida terbesar yang digunakan dalam program pemberantasan hama dan vektor penyakit serta berbagai jenis serangga

pengganggu yang sering didapatkan di dalam dan sekitar rumah (Sukmawati, 2018).

2. Herbisida: Merupakan bahan kimia yang dapat digunakan untuk mengendalikan pertumbuhan gulma karena dapat mematikan pertumbuhan atau menghambat pertumbuhan normalnya (Tjitrosoedirdjo *et al.*, 1984). Sifat herbisida yang efektif, selektif, dan sistemik membuat petani dengan cepat menerima penggunaan herbisida dalam pengendalian gulma (Sembodo, 2010). Namun pemakaian herbisida yang terus-menerus tersebut akan meningkatkan jumlah residu herbisida dalam tanah (Wati dkk., 2017).
3. Rodentisida: pestisida yang digunakan untuk membunuh tikus. Rodentisida dapat membasmi hewan pengerat seperti tikus dengan meracuni makanan (tanaman) atau jenis pestisida yang digunakan untuk memberantas hama berupa hewan-hewan pengerat. Penggunaan Rodentisida dengan dicampurkan dengan makanan kesukaan tikus. Dalam meletakkan umpan tersebut harus hati-hati, jangan sampai termakan oleh binatang lain. Rodentisida sering diaplikasikan di daerah perladangan, persawahan, daerah domestik perumahan. Contoh dari senyawa rodentisida adalah: Arsen Trioksida (As_2O_3) dan Seng Fosfida (Zn_3P_2) (Arief dkk., 2016).
4. Fungisida: zat kimia yang digunakan untuk mengendalikan cendawan (fungi). Fungisida umumnya dibagi menurut cara kerjanya di dalam tubuh tanaman sasaran yang diaplikasi, yakni fungisida nonsistemik, sistemik, dan sistemik lokal. Penerapan fungisida sistemik dan non sistemik, erat hubungannya

dengan sifat dan aktifitas fungisida terhadap jasad sarannya (Hadisutrisno dan Rien Indriyati. 1982).

5. Algasida: berasal dari kata alga, bahasa latinnya berarti ganggang laut yang berfungsi untuk membunuh alga.
6. Avisida: bahan kimia yang dipergunakan untuk membunuh atau mengendalikan burung

Pestisida yang memiliki ketahanan di lingkungan dapat dikelompokkan atas dua golongan yaitu yang resisten dan yang kurang resisten. Resisten memiliki efek yaitu meninggalkan pengaruh terhadap lingkungan. Pestisida yang termasuk organoklorin termasuk pestisida yang resisten pada lingkungan dan meninggalkan residu yang terlalu lama dan dapat terakumulasi dalam jaringan melalui rantai makanan, contohnya DDT, *Cyclodienes*, *Hexachlorocyclohexane* (HCH), dan *endrin*. Pestisida kelompok organofosfat adalah pestisida yang mempunyai pengaruh yang efektif sesaat saja dan cepat terdegradasi di tanah, contohnya Disulfoton, Parathion, Diazinon, Azodrin, Gophacide, dan lain-lain (Sudarmo, 1991).

G. Tinjauan Umum tentang Pestisida Organofosfat

Meskipun sering disebut sebagai pestisida generasi kedua, insektisida *organophosphorus* yang sehari-hari disebut organofosfat (OP) sebenarnya dikembangkan pada waktu yang hampir bersamaan dengan hidrokarbon berklor. Insektisida dari kelompok organofosfat umumnya bersifat sangat beracun dengan beberapa pengecualian, namun mudah didekomposisi di alam. Organofosfat bekerja sebagai racun perut, racun kontak, dan beberapa di

antaranya racun inhalasi. Semua insektisida OP merupakan racun saraf yang bekerja dengan cara menghambat kolin esterase (ChE) yang mengakibatkan serangga sasaran mengalami kelumpuhan dan akhirnya mati (Djojsumarto, 2008).

Insektisida organofosfat merupakan bahan kimia yang disintesis berdasarkan struktur dasar yang disarankan oleh Gerhard Schrader pada tahun 1937. Insektisida pertama yang disintesis berdasarkan *lead-structure* ini adalah sulfotep, yang diperkenalkan oleh G. Schrader dan H. Kukenthal pada tahun 1944. Sudah disinggung bahwa organofosfat dikenal sebagai insektisida yang sangat toksik (sangat beracun), meskipun pada kenyataannya daya racun atau toksisitasnya berkisar antara sangat toksik seperti paration (LD_{50} pada tikus >2 mg/kg berat badan) hingga kurang toksik pada temefos (LD_{50} pada tikus mg/kg). Organofosfat pada umumnya mudah didekomposisi di lingkungan serta bersifat non bioakumulatif. Kebanyakan insektisida organofosfat merupakan insektisida non-sistemik, meskipun beberapa di antaranya memiliki sifat sistemik seperti demeton, disulfoton, fosiamidon, monokrotofos, dan tiometon. Pada tahun 1937, G. Schrader (Bayer) menyusun struktur dasar (*lead structure, basic structure*) organofosfat (Sudarmo, 1991).

Berdasarkan struktur dasar tersebut, Schrader mensintesis sulfotep (diumumkan tahun 1944) dan paration (diumumkan 1946). Pestisida yang termasuk dalam kelompok organofosfat juga bisa dikelompokkan dalam berbagai kelompok. Pengelompokannya itu terdiri dari Kelompok pirofosfat, contohnya etion, schradan (OMPA), tetraetil dithiofosfat (TEDTP).

Fosiorohalida dan sianida, contohnya dimetoks dan mipafoks. Dialkilarilfosfat, fosforotioat dan fosforoditioat, contohnya abate, azinfos-metil, diazinon, paration-etil, paration- metil, fenitrothion, fention, quinalfos, klorpirifos, dan metamidofos. Trialkilfosfat dan tioiosfat, contohnya diklorvos (DDVP), dimeton, dimetoat, dikrotofos, fosfamidon, malation, mevinfos, dan metidation. Asefat, diperkenalkan pada tahun 1972. Insektisida sistemik ini bekerja sebagai racun kontak dan racun perut serta memiliki *mode of action* sebagai racun saraf penghambat kolin esterase. Berikut merupakan jenis-jenis pestisida dari golongan organosfosfat (Djojoseumarto, 2008).

1. Asefat, insektisida yang berasal dari golongan Organofosfat dengan mekanisme kerja mengikat dan menghambat enzim asetilkolinesterase (AChE) dalam jaringan sistem saraf, dan fipronil dari golongan Phenylpyrazoles memiliki sifat kontak dengan mekanisme kerja mengganggu sistem saraf (Eko & Susanto, 2019).
2. Azinfos-metil, adalah insektisida organofosfor heterosiklik yang banyak digunakan untuk perlindungan pohon buah-buahan dan tanaman seperti jeruk, apel, kentang dan tomat dari tungau, thrips, kutu daun (Ghoraba et al., 2018).
3. Kadusafos, atau Cadusafos, O-ethyl S, S-bis (1-methylpropyl) phosphorodithioate, adalah pestisida organofosfat dengan keberhasilan yang ditunjukkan terhadap spektrum luas nematoda dan hama serangga dari beberapa tanaman penting. Namun, penggunaan pestisida tersebut

menimbulkan masalah lingkungan yang terkait dengan kontaminasi air permukaan dan air tanah (Abo-amer, 2012).

4. Klorfenvinfos, diumumkan pada tahun 1962. Insektisida ini bersifat non-sistemik serta bekerja sebagai racun kontak dan racun perut dengan efek residu yang panjang. Insektisida organofosforil klorfenvinphos [2-kloro1-(2,4-diklorofenil) vinil dietil fosfat] adalah molekul neurotoksik yang menghambat asetilkolinesterase (Kadar et al., 2017).
5. Klorpirifos, atau O, O-dietil-O- (3,5,6-trichloro-2-pyridyl) – phosphorothioate merupakan insektisida organofosfat yang memiliki toksisitas cukup tinggi. Klorpirifos biasa digunakan sebagai bahan untuk pengendalian hama di berbagai tanaman pangan, rumput dan tanaman hias, rumah kaca, dan tanah, pengendalian hama dalam ruangan dan pengendalian hama struktural (Lee et al., 2004).
6. Kumafos, insektisida organofosfat yang secara luas digunakan untuk memerangi tungau *Varroa* dan untuk perlindungan tanaman di pertanian, masing-masing, telah terdeteksi dalam sampel lilin, serbuk sari dan sisir (Chaimanee, et. al. 2016).
7. Demeton-S-metil, ditemukan pada tahun 1954, merupakan insektisida dan akarisida sistemik serta bekerja sebagai racun kontak dan racun perut. Demeton-S-metil digunakan—terutama—untuk mengendalikan serangga penusuk-pengisap dan tungau (Djojsumarto, 2008).
8. Diazinon, salah satu pestisida organofosfor yang paling umum digunakan dalam kegiatan pertanian, dan aksesnya ke air tanah dan air permukaan

merusak lingkungan hewan dan tumbuhan. Diazinon merupakan insektisida dan akarisisida non-sistemik yang bekerja sebagai racun kontak, racun perut, dan efek inhalasi. Insektisida ini berspektrum luas serta digunakan untuk mengendalikan berbagai serangga hama penusuk-pengisap, serangga pengunyah, dan serangga yang ada di dalam tanah (Dehghani et al., 2019).

9. Diklorvos (DDVP), pestisida organofosfor yang telah diklasifikasikan sebagai bahan kimia yang sangat berbahaya oleh organisasi Kesehatan Dunia. Banyak digunakan sebagai insektisida di bidang pertanian, penyimpanan makanan dan rumah, serta untuk mengobati infeksi pada ternak. Pada manusia, paparan akut DDVP dapat menyebabkan masalah pernapasan atau bahkan kematian, sedangkan paparan kronis telah dikaitkan dengan kondisi manusia lainnya seperti diabetes atau kerusakan hati (Bustos, et al. 2019).
10. Dikrotofos, merupakan insektisida dan akarisisida sistemik yang bekerja sebagai racun kontak dan racun perut. Dikrotofos bersifat agak persisten dan digunakan untuk mengendalikan serangga hama pengunyah, penusuk-pengisap, pembor, serta beberapa spesies tungau. Menyebabkan iritasi ringan pada kulit dan mata (Djojsumarto, 2008).
11. Dimetoat, ditemukan pada tahun 1951. Dimetoat merupakan insektisida dan akarisisida organofosfat sistemik pertama sebagai penghambat kolinesterase (ChE). Dimetoat bekerja sebagai racun kontak dan racun perut serta memiliki spektrum luas untuk mengendalikan hama-hama dari kelas tungau (Acarinae), kumbang (Coleoptera), kutu daun (Aphids), lalat (Diptera),

ngengat (Lepidoptera), kutu dompolan (Pseudococcidae), dan thrips(Thysanoptera) pada berbagai tanaman (Djojsumarto, 2008).

12. Etion, dengan rumus senyawa [(O, O, O O O, O -tetraethyl O -methylene bis (phosphorodithioate))] diperkenalkan pada tahun 1956 oleh Perusahaan pengolah makanan dan Kimia (FMC) untuk digunakan pada tanaman dan hewan sebaga insektisida, akarisida dan ovisida (R. Foster et al., 2004).
13. Fenitrothion, merupakan insektisida yang berfungsi untuk mengendalikan hama tanaman seperti penggerek batang pada padi. Dalam program keehatan masyarakat digunakan untuk mengendalikan lalat dan nyamuk. Fenitrothion disintesis oleh reaksi dimetil phosphorochloridothionate dengan 3-metil-4-nitrophenol (Eto, 2018).
14. Fention, senyawa organofosfat yang digunakan untuk membasmi serangga dalam bawang putih, kacang tanah, coklat, kedelai, kina, lada dan tanaman tembakau. Fention dengan formula molekul C₁₀H₁₅O₃PS₂ adalah bahan aktif insektisida lebaycid. Nama IUPAC dari Fention adalah O-Dimetil O-[3-metil-4- (metilitio) penil] fosfortiat atau O, O-Dimetil O-metilitio-m-tolyl fosforotioat. Senyawa ini adalah cairan tidak berwarna, hampir tidak berbau dan larut dalam gliserida, metanol, etanol, eter, aseton, dan sebagian besar pelarut organik (Sofyanita & Octaria, 2018).
15. Malation, insektisida organofosfat yang banyak digunakan dalam pertanian. Malation tidak terakumulasi secara signifikan pada manusia dan dengan cepat dimetabolisme dan diekskresikan dalam urin. Dalam situasi non-kerja, paparan pestisida ini biasanya sporadis dan berumur pendek karena pestisida

cenderung menurun di lingkungan seiring waktu; Namun, paparan makanan mungkin lebih kronis (Barr & Angerer, 2006).

16. Metamidofos, ditemukan pada tahun 1970. Senyawa ini bekerja sebagai insektisida dan akarisida, bersifat sistemik, serta diserap baik oleh daun dan akar. Metamidofos bertindak sebagai racun perut dan racun kontak serta diaplikasikan untuk mengendalikan serangga pengunyah, penusuk-pengisap, dan tungau (Djojsumarto, 2008).
17. Metidation, dengan rumus senyawa (*S*-2,3-dihydro-5-methoxy-2-oxo-1,3,4-thiadiazolyl-3-methyl O, O-dimethylphosphorodithioate) (*meth*), adalah insektisida organofosfat non-sistemik dan akarisida dengan lambung dan aksi kontak. Senyawa ini digunakan untuk mengendalikan berbagai serangga dan tungau di banyak tanaman seperti buah-buahan, sayuran, tembakau, alfalfa, dan bunga matahari, serta pada kultur mawar di rumah kaca. Ini sangat berguna terhadap serangga skala. Tindakannya didasarkan pada penghambatan enzim tertentu pada hama target (Mirčeski, et al. 2010).
18. Mevinfos, dikembangkan oleh Shell Chemical pada tahun 1954 yang diformulasikan untuk mengendalikan kutu daun, tungau, belalang, cacing tambang, wereng daun, ulat banyak serangga lain di berbagai bidang tanaman, hijauan, sayuran, dan tanaman buah-buahan. US EPA (United States Environmental Protection Agency) menetapkan dosis referensi bagi mevinfos sejumlah 0,00025 mg / (kg · d) (Cochran et al., 1996).
19. Monokrotofos, merupakan insektisida dan akarisida sistemik yang masuk ke jaringan tanaman dengan cepat. Monokrotofos bekerja sebagai racun kontak

dan racun perut yang berspektrum pengendalian luas untuk Serangga hama penusuk-pengisap, pengunyah, pembor, dan beberapa jenis tungau (Djojsumarto, 2008).

20. Paration, cairan berwarna coklat tua hingga kuning dengan sedikit aroma bawang putih, merupakan insektisida organofosfat yang bertindak sebagai penghambat kolinesterase, dan sifatnya sangat beracun oleh semua rute paparan. Insektisida ini dapat berupa cairan atau campuran kering dan biasanya digunakan pada buah-buahan, kapas, gandum, sayuran, dan tanaman kacang. Apabila manusia terpapar oleh insektisida ini dapat menimbulkan gangguan saraf (Medicine, 2020a).
21. Paration-metil, adalah insektisida dan akarisida organofosfat yang digunakan untuk mengendalikan serangga hama tanaman pertanian. Jenis pestisida ini membunuh serangga melalui kontak, lambung dan tindakan pernapasan. Paration-metil tersedia dalam bentuk debu, konsentrat yang dapat diemulsikan, cairan ULV, mikroenkapsul dan formulasi bubuk yang dapat dibasahi. Zat kimia dalam Paration-metil bekerja dengan mengganggu aktivitas *cholinesterase*, enzim yang penting untuk kerja sistem saraf manusia, hewan, dan serangga (Cornell University, 1994).
22. Fentoat, merupakan insektisida dan akarisida non-sistemik yang bekerja sebagai racun kontak dan racun perut. Fentoat digunakan untuk mengendalikan berbagai hama serangga (Lepidoptera, Diptera, Coleoptera, Thysanoptera) dan akarina. LD₅₀ (tikus) sekitar 249 mg/kg; LD₅₀ dermal (tikus) > 5.000 mg/kg tidak menyebabkan iritasi kulit dan mata (kelinci);

LC₅₀ inhalasi (4 jam, tikus) 3,17 mg/liter udara; NOEL (104 minggu, anjing) 0,29 mg/kg/hari; dan ADI 0,003 mg/kg (Djojoseumarto, 2008).

23. Forat, adalah insektisida / nematisida yang digunakan untuk mengendalikan berbagai serangga seperti kumbang kacang Meksiko, cacing akar jagung, tungau, penggerek jagung Eropa, cacing kawat, belatung putih, kutu daun jagung, kumbang jagung, penggerek daun, thrips, dan berbagai macam serangga hama tanaman. Forat digunakan pada kentang, jagung, kacang tanah, kapas, tebu, gandum (musim semi / musim dingin), kedelai, dan kacang-kacangan (EPA, 2001).
24. Fosalon, adalah anggota keluarga insektisida organofosfat. Ini digunakan sebagai insektisida dan akarisida. Muncul dalam konsentrasi yang dapat diemulsikan, bubuk yang dapat dibasahi, dan formulasi debu. Digunakan pada tanaman kacang-kacangan, jeruk, buah pome, buah-buahan batu, anggur, kentang, dan mawar. Aktif terhadap tungau laba-laba merah pada apel dan pir. Berfungsi mengendalikan berbagai macam ulat dan kumbang pada tanaman yang penting secara ekonomi serta sejumlah hemiptera dan hymenoptera (Cornell University, 1995).
25. Fosmet, adalah insektisida organofosfat non-sistemik yang digunakan pada tanaman dan hewan. Fosmet, terutama digunakan pada pohon apel untuk mengendalikan ngengat, meskipun digunakan pada berbagai tanaman buah, tanaman hias dan tanaman merambat untuk mengendalikan kutu daun, pengisap, tungau dan lalat buah. Fosmet digunakan pada sekitar 1,1 juta hektar di Amerika Serikat setiap tahun. Senyawa ini juga merupakan bahan

aktif dalam beberapa kerah anjing. Bentuknya padat, berwujud kristal putih dan memiliki bau yang sangat kuat (Cornell University, 1993).

26. Fosfamidon, ditemukan pada tahun 1956. Insektisida dan akarisida sistemik ini diserap oleh daun serta akar dan bekerja terutama sebagai racun perut dengan hanya sedikit efek kontak. Fosfamidon digunakan untuk mengendalikan serangga hama pengunyah dan penusuk-pengisap. LD₅₀ (tikus) sekitar 30 mg/kg; LD₅₀ dermal (tikus) 374—530 mg/kg menyebabkan iritasi ringan pada kulit dan iritasi sedang pada mata (kelinci); LC inhalasi (satu jam, tikus) 0, 18 mg/liter udara; NOEL (2 tahun, tikus) 1,25 mg/kg bb; dan ADI mg/kg (Djojsumarto, 2008).
27. Foksim, merupakan insektisida dari kelompok senyawa ester fosfat. Foksim adalah racun kontak yang memiliki efek mendalam tapi tidak sistemik. Efek awal cepat, dengan durasi pendek hingga sedang, tergantung pada pemakaian. Bahan aktif ini memiliki spektrum aktivitas yang luas dan paling efektif melawan serangga yang menggigit. Zat ini digunakan sebagai insektisida yang diaplikasikan di tanah, dan juga digunakan untuk perawatan pada ternak terhadap tungau dan ektoparasit lainnya (INCHEM, 1983).
28. Profenofos, ditemukan pada tahun 1975. Profenofos merupakan insektisida dan akarisida non sistemik yang memiliki aktivitas translaminar dan ovisida. Profenofos biasa digunakan untuk membasmi berbagai serangga hama (khususnya Lepidoptera) dan tungau. LD₅₀ (tikus) sekitar 358 mg/kg; LD₅₀ dermal (kelinci) 472 mg/kg tidak menyebabkan iritasi kulit dan mata (kelinci); LC₅₀ inhalasi (4 jam, tikus) 3 mg/liter udara; NOEL (2 tahun, tikus)

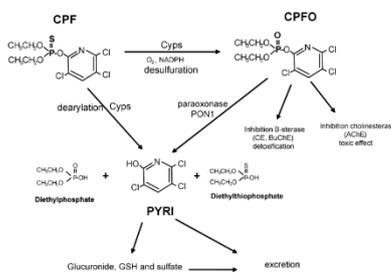
mg/kg bb; dan ADI 0,01 . Profenofos bersifat toksik pada *Crustaceae* (bangsa udang) dan lebah, tetapi tidak toksik bagi cacing tanah (Djojsumarto, 2008).

29. Protiofos, yang memiliki rumus kimia $C_{11}H_{15}Cl_2O_2PS_2$ merupakan insektisida organofosfat bersifat non-sistemik yang digunakan untuk membasmi hama penggerek daun pada tanaman. Insektisida ini diaplikasikan pada tanaman buah anggur, pisang, dan pir (Hertfordshire, 2006).
30. Piraklofos, merupakan insektisida racun inhalasi, racun kontak, dan racun perut. Insektisida ini digunakan untuk mengendalikan Lepidoptera, Coleoptera, dan Acarina pada beberapa tanaman pertanian. Piraklofos bersifat agak fototoksik bagi beberapa jenis buah-buahan, seperti apel, pear, dan jeruk tergantung pada varitas dan kondisi lingkungan. LD_{50} (tikus) sebesar 237 mg/kg; LD_{50} dermal (tikus) > 2.000 mg/kg tidak menyebabkan iritasi kulit dan mata (kelinci); LC_{50} inhalasi 1,46 mg/liter udara; dan NOEL (2 tahun, tikus) mg/kg berat badan. Piraklofos bersifat non-onkogenik (pada tikus dan mencit) dan non-teratogenik (pada tikus dan kelinci) (Djojsumarto, 2008).
31. Piridafention, dengan senyawa [O- (1, 6-dihydro-6-oxo- 1 -phenyl pyridazin-3-yl) 0, 0-diethyl phosphorothioate] adalah insektisida dan akarisida spektrum luas organofosfor yang digunakan dalam kontrol mengisap dan mengunyah serangga dan tungau laba-laba dalam sereal, sayuran, buah-buahan dan tanaman hias (Medicine, 2020).

32. Triazofos, dengan nama IUPAC O,O-dietil O-1-penil-1H-1,2,4-triazol-3-yl fosforotiate merupakan insektisida organofosfor yang efektif terhadap banyak hama serangga pada berbagai tanaman. Insektisida ini digunakan pada semprotan daun pada tanaman kapas, beras dan kedelai (Wang, 1993).

H. Tinjauan Umum tentang Pestisida Klorpirifos

Nama kimia residu klorpirifos adalah O,O-diethyl-O-(3,5,6-trichloro-2 pyridyl) phosphorothioate (Kaneko, 2011). Sifat fisik dan kimia rumus empiris klorpirifos adalah $C_9H_{11}Cl_3NO_3PS$ dengan berat molekul sebesar 350,6. Klorpirifos berbentuk kristal padat berwarna putih, titik lebur berada pada suhu $41,5 - 42,5^{\circ}C$ dengan titik didih $> 300^{\circ}C$ Massa jenisnya adalah 1.51 g/ml pada $21^{\circ}C$. Hal ini larut dengan aseton > 400 g/l pada $20^{\circ}C$, Dichloromethane > 400 g/l pada $20^{\circ}C$, Ethyl acetate > 400 g/l pada $20^{\circ}C$, Methanol 250 g/100 ml pada $20^{\circ}C$, Toluene > 400 g/l pada $20^{\circ}C$, n-Hexane > 400 g/l pada $20^{\circ}C$. Klorpirifos larut dalam air bersih dengan pH 4,7 pada $25^{\circ}C$ dalam waktu paruh 63 hari, pH 6,9 pada $25^{\circ}C$ dengan waktu paruh 35 hari, pH 8,1 pada $25^{\circ}C$ dengan waktu paruh 23 hari. Sedangkan dalam pelarut organik tidak ada tanda-tanda degradasi di xylenerange pelarut aromatik yang digunakan dalam formulasi klorpirifos (Testai, dkk., 2011).



Gambar 2.1. Struktur kimia klorpirifos (Testai, dkk., 2011)

Klorpirifos telah digunakan sebagai pestisida sejak tahun 1965 di kedua daerah pertanian dan non-pertanian. Klorpirifos adalah insektisida organophosphorothionate (OPT) dengan aktivitas antikolinesterase non-sistemik, lambung, dan tindakan pernapasan. Klorpirifos sudah banyak digunakan dalam pertanian, hortikultura, pemeliharaan anggur, dan kehutanan pada berbagai tanaman, dalam aplikasi perumahan dan non-hunian untuk mengontrol kecoa, kutu, dan hama di rumah-rumah hewan (U. S. EPA, 2017). Klorpirifos adalah salah satu dari kelas insektisida disebut sebagai organofosfat. Bahan kimia ini bertindak dengan mengganggu kegiatan kolinesterase, enzim yang penting untuk bekerja dengan baik dari sistem saraf manusia dan serangga (Exttoxnet, 1996).

Insektisida organofosfat merupakan bahan kimia yang disintesis berdasarkan struktur dasar yang disarankan oleh Gehard Schrader pada tahun 1937. Insektisida pertama yang disintesis berdasarkan lead-structure ini adalah sulfotep yang diperkenalkan oleh G. Schrader dan H. Kukenthal pada tahun 1944. Sudah disinggung bahwa organofosfat dikenal sebagai insektisida yang sangat toksik (sangat beracun), mesiu pada keyataannya daya racun atau toksisitasnya berkisar antara sangat toksik seperti paration (LD_{50} pada tikus > 2 mg/kg berat > 4.000 mg/kg). Organofosfat umumnya cepat didekomposisi dilingkungan dan tidak bersifat biokumulatif. Kebanyakan insektisida organofosfat merupakan insektisida non-sistemik, meskipun beberapa di antaranya memiliki sifat sistemik seperti demeton, disulfoton, fosfamidon, monokrotofos, dan tiometon (Djojsumarto, 2008).

Tahap interaksi inhibisi organofosfat adalah sebagai berikut (Soemirat, 2009):

1. Interaksi aktif site asetilkolinesterase membentuk ikatan kompleks yang tidak stabil.
2. Hidrolisis dari senyawa kompleks terjadi dengan melepaskan ikatan Z atau R substitusi yang menghasilkan phosphorylated (organofosfat ester) sehingga AchE terinhibisi dan menjadi tidak reaktif lagi.
3. Defosforilasi dan dekarbamalisasi menghasilkan AchE bebas, sehingga kembali mampu memutuskan asetilkolin (Ach) sebagai transmitter.

I. Tinjauan Umum tentang Dampak Pestisida

Penggunaan pestisida sintetis yang kurang bijak dapat menimbulkan dampak buruk bagi lingkungan. Selain itu, penyemprotan dengan menggunakan pestisida kimia secara tidak bijaksana telah menyebabkan hama kebal terhadap pestisida. Karena beberapa hama telah kebal terhadap pestisida, petani cenderung menggunakan dosis pestisida yang lebih tinggi dan dilakukan berulang-ulang. Kondisi yang demikian dapat menimbulkan pencemaran lingkungan (Sudarmo, S., 2005).

Pada dasarnya, pestisida itu bersifat racun. Oleh sebab sifatnya sebagai racun itulah pestisida dibuat, dijual, dan digunakan untuk meracuni organisme pengganggu tanaman (OPT). Setiap racun berpotensi mengandung bahaya. Oleh karena itu, ketidakbijaksanaan dalam penggunaan pestisida pertanian bisa menimbulkan dampak negatif. Beberapa dampak

negatif dari penggunaan pestisida dapat dijelaskan sebagai berikut (Djojoseumarto, 2008):

1. Dampak Bagi Keselamatan Pengguna

Penggunaan pestisida bisa mengontaminasi pengguna secara langsung sehingga mengakibatkan keracunan. Dalam hal ini, keracunan bisa dikelompokkan menjadi 3 kelompok, yaitu keracunan akut ringan, akut berat, dan kronis. Keracunan akut ringan menimbulkan pusing, sakit kepala, iritasi kulit ringan, badan terasa sakit, dan diare. Keracunan akut berat menimbulkan gejala mual, menggigil, kejang perut, sulit bernapas, keluar air liur, pupil mata mengecil, dan denyut nadi meningkat. Selanjutnya, keracunan yang sangat berat dapat mengakibatkan pingsan, kejang-kejang, bahkan bisa mengakibatkan kematian. Keracunan kronis lebih sulit dideteksi karena tidak segera terasa dan tidak menimbulkan gejala serta tanda yang spesifik. Namun, keracunan kronis dalam jangka waktu lama bisa menimbulkan gangguan kesehatan. Beberapa gangguan kesehatan yang sering dihubungkan dengan penggunaan pestisida di antaranya iritasi mata dan kulit, kanker, keguguran, cacat pada bayi, serta gangguan saraf, hati, ginjal, dan pernapasan. Namun, ada kalanya klaim tersebut sulit dibuktikan secara pasti dan meyakinkan.

2. Dampak Bagi Konsumen

Dampak pestisida bagi konsumen umumnya berbentuk keracunan kronis yang tidak segera terasa. Namun, dalam jangka waktu lama

mungkin bisa menimbulkan gangguan kesehatan. Meskipun sangat jarang, pestisida dapat pula menyebabkan keracunan akut, misalnya dalam hal konsumen mengonsumsi produk pertanian yang mengandung residu dalam jumlah besar.

3. Dampak Bagi Kelestarian Lingkungan

Dampak penggunaan pestisida bagi lingkungan dikelompokkan menjadi dua kategori.

a. Bagi Lingkungan Umum

- 1) Pencemaran lingkungan (air, tanah, dan udara).
- 2) Terbunuhnya organisme non-target karena terpapar secara langsung.
- 3) Terbunuhnya organisme non-target karena pestisida memasuki rantai makanan.
- 4) Menumpuknya pestisida dalam jaringan tubuh organisme melalui rantai makanan (bioakumulasi).
- 5) Pada kasus pestisida yang persisten (bertahan lama), konsentrasi pestisida dalam tingkat trofik rantai makanan semakin ke atas semakin tinggi (biomagnifikasi).
- 6) Penyederhanaan rantai makanan alami.
- 7) Penyederhanaan keragaman hayati.
- 8) Menimbulkan efek negatif terhadap manusia secara tidak langsung melalui rantai makanan.

b. Bagi Lingkungan Pertanian (Agro-ekosistem)

- 1) OPT menjadi kebal terhadap suatu pestisida (timbul resistensi OPT terhadap pestisida).
- 2) Meningkatnya populasi hama setelah penggunaan pestisida (resurgensi hama).
- 3) Timbulnya hama baru, bisa hama yang selama ini dianggap tidak penting maupun hama yang sama sekali baru.
- 4) Terbunuhnya musuh alami hama.
- 5) Perubahan flora, khusus pada penggunaan herbisida.
- 6) Fitotoksik (meracuni tanaman).

Pestisida kimia merupakan bahan beracun yang sangat berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan. Pestisida kimia bersifat polutan sehingga dapat menyebarkan radikal bebas yang mengakibatkan kerusakan organ tubuh, mutasi gen, dan gangguan susunan saraf pusat. Pestisida yang disemprotkan ke tanaman akan masuk dan meresap ke dalam sel-sel tumbuhan, termasuk ke bagian akar, batang, daun, dan buah. Jika buah atau daun ini termakan oleh manusia maka racun atau residu bahan kimia beracun ikut masuk ke dalam tubuh manusia (Soenandar & Tjachjono, 2012).

Dampak negatif pestisida terhadap kesehatan manusia sangat besar dan membebani pengaruhnya terhadap ekosistem padi dan lingkungan. Dalam sistem beras Asia, penggunaan pestisida kecil dalam hal dosis dan jumlah aplikasi, dan bahan kimia yang digunakan terdegradasi lebih cepat dalam kondisi banjir tropis daripada di kondisi dataran tinggi sedang. Sementara

bahan kimia yang digunakan cenderung menurun dengan cepat, mereka sangat beracun bagi manusia, dan paparan pada tingkat rendah cenderung menyebabkan masalah kesehatan akut dan kronis. Banyak pestisida yang umumnya dijual di Asia, bahan kimia kategori I dan II yang sangat berbahaya, dilarang atau sangat dibatasi penggunaannya di Indonesia. Bahkan negara maju ketika menggunakannya harus dengan tingkat perlindungan yang tinggi. Di Asia, bahan kimia ini digunakan dengan perlindungan minimal, dan peluang untuk meningkatkan keamanan petani kecil (Pingali *et al*, 2012).

J. Tinjauan Umum tentang Kromatografi Gas

Kromatografi adalah metode pemisahan fisik di mana komponen-komponen yang akan dipisahkan didistribusikan antara dua fase, salah satunya adalah stasioner (fase stasioner) sementara yang lain (fase gerak) bergerak ke arah yang pasti. Kromatografi elusi adalah prosedur di mana fase gerak terus menerus melewati atau sepanjang unggun kromatografi dan sampel dimasukkan ke dalam sistem sebagai siput terbatas (McNair *et al*, 2019). Ada 2 jenis kromatografi gas, yaitu kromatografi gas-cair (KGC) yang fase diamnya berupa cairan yang diikatkan pada suatu pendukung sehingga solut akan terlarut dalam fase diam; dan (2) kromatografi gas-padat (KGP), yang fase diamnya berupa padatan dan kadang-kadang berupa polimerik. Prinsip dasar kromatografi gas melibatkan volatilisasi atau penguapan sampel dalam inlet injektor, pemisahan komponen-komponen dalam campuran, dan deteksi tiap komponen dengan detektor (Rohman A., 2009).

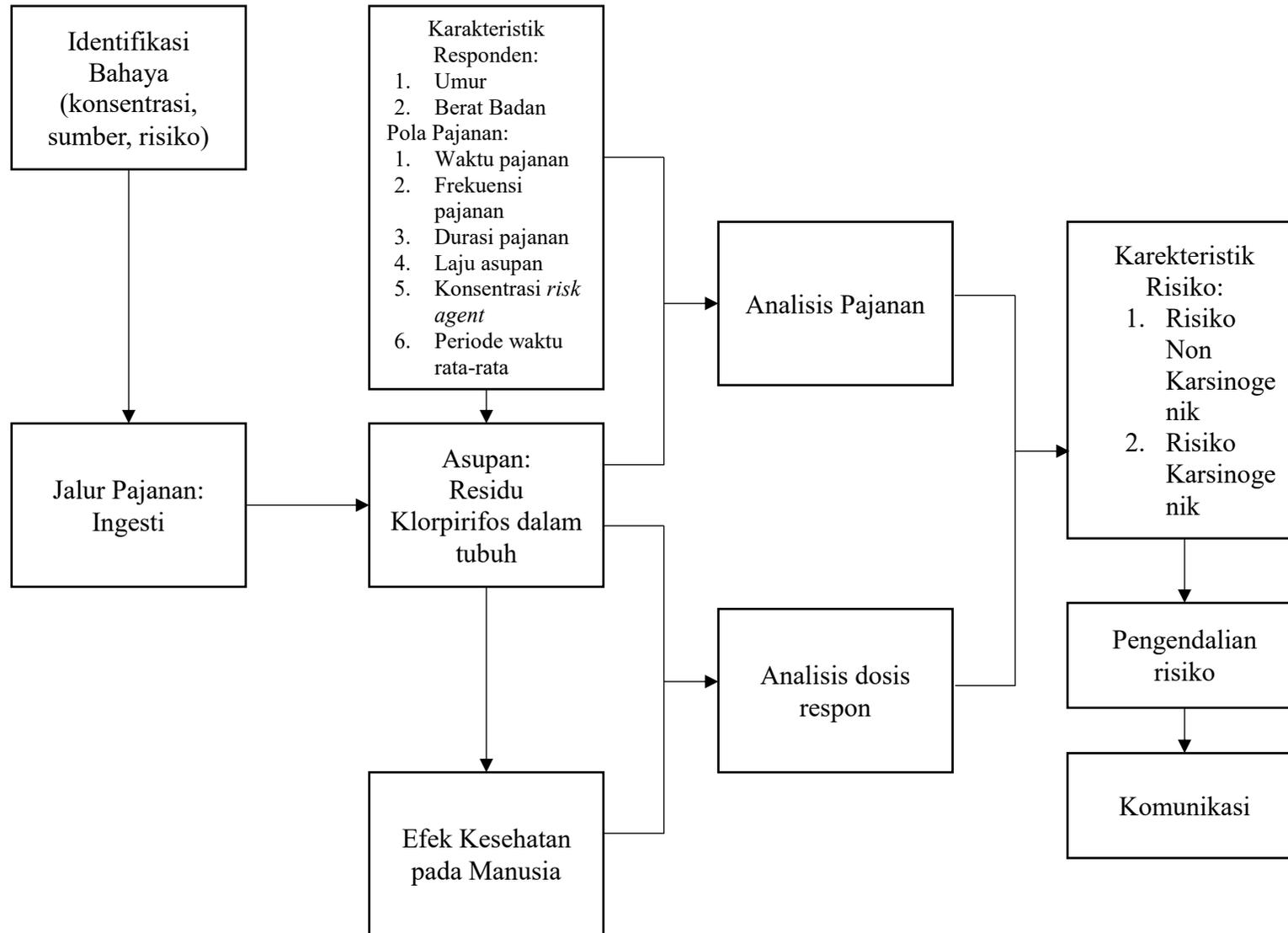
Cara kerja akan diuraikan sebagai sederetan langkah, dan bagian berikutnya akan memberikan informasi yang lebih banyak mengenai masing-masing langkah. Jika KG telah dinyalakan, petunjuk ini menjadi sederet pengecekan sederhana yaitu (Ginting, 2017).

1. Instrumen diperiksa, terutama jika tidak dipakai terus-menerus. Ini dilakukan untuk mengecek apakah telah dipasang kolom yang tepat, apakah sepektrum injektor tidak rusak (apakah ada lubang besar atau bocor karena sering dipakai), apakah sambungan saluran gas kedap, apakah tutup tanur tertutup rapat, apakah semua bagian listrik bekerja dengan baik, dan apakah detektor yang terpasang sesuai.
2. Aliran gas ke kolom dimulai atau disesuaikan. Ini dilakukan dengan membuka katup utama pada tangki gas dan kemudian memutar katup (diafragma) sekunder ke sekitar 15 psi dan membuka katup jarum sedikit. Ini memungkinkan aliran gas yang lambat (2-5)/menit untuk kolom kemas dan sekitar 0,5 ml/menit untuk kolom kapiler) melewati sistem dan melindungi kolom dan detektor terhadap kerusakan secara oksidasi.
3. Kolom dipanaskan sampai suhu awal yang dikehendaki. Ini dilakukan, pada instrumen buatan lama, dengan memutar transformator tegangan perubah yang mengendalikan gulungan pemanas dalam tanur, ke sekitar 90 V. Jika suhu mencapai 10-15°C dibawah suhu yang dikehendaki, transformator diputar ke tegangan (10-50 V) yang akan terus menambah bahan yang cukup untuk mengimbangi kehilangan bahan.

4. Pemanas yang terpisah untuk injektor dan detektor dijalankan atau disesuaikan. Suhunya harus sekitar 10-25°C lebih tinggi daripada suhu kolom akhir. Suhu detektor harus lebih tinggi dari 100°C sehingga air tidak dapat mengembun jika seandainya terbentuk tidak sengaja atau jika ada air.
5. Aliran gas pembawa melalui kolom dinaikkan sampai 25-30 ml/menit untuk kolom kemas 3mm (atau 6mm, tapi lebih jarang) atau sampai.
6. Arus ke detektor hanya dialirkan jika gas pembawa mengalir untuk melindungi kawat pijar. Dalam hal detektor hantar bahang (DHB), detektor yang paling sederhana, arus disesuaikan menjadi 150-200 mA atau disesuaikan dengan aliran optimum, jika diketahui. Setelah suhu ruang detektor stabil (2-3 menit), rangkaian listrik diseimbangkan sehingga pena berada pada garis alas perekam dalam kertas gaftar. Jika KG dilengkapi dengan detektor ionisasi nyala (DIN), yaitu detektor yang paling umum dipakai, diperlukan beberapa pengecekan tambahan. DIN memerlukan hidrogen untuk nyala, jadi generator hidrogen harus dijalankan dan alirannya disesuaikan agar sama dengan aliran kolom (25-30 ml/menit). Udara (oksigen) untuk detektor dialirkan dan diatur supaya alirannya sepuluh kali aliran kolom. (Aliran optimum sistem dapat dan harus ditentukan dengan percobaan). Nyala dalam DIN kemudian dapat dipasang dengan menekan tombol penyala pada KG. Terdengar bunyi jika nyala terpasang. Penstabilan biasanya terjadi dalam 2-3 menit. Rangkaian listrik detektor diseimbangkan agar pena perekam berada pada garis ala kertas perekam.

7. Cuplikan disuntikkan. Sedikit cairan (lihat dibawah; hati-hati, jangan terjadi beban lebih), atau larutan cuplikan dalam pelarut atsiri, ditambah sedikit udara jika memakai DHB (agar memberikan puncak udara atau untuk menandai waktu nol), disedot dengan semprit mikro yang dilengkapi dengan jarum panjang. DIN kadang – kadang memberikan puncak waktu nol karena terjadi sedikit perubahan aliran ketika cuplikan disuntikkan. Cuplikan dimasukkan ke dalam kolom dengan memasukkan jarum secara hati-hati menembus septum gerbang suntik (yang terbuat dari karet sedalam-dalamnya dan segera cuplikan dikeluarkan dari semprit secepat mungkin. Kemudian semprit dicabut dengan cepat dan dibersihkan dengan pelarut. KG yang dilengkapi dengan DHB normal memerlukan sekurang-kurangnya $10\mu\text{L}$ cuplikan dan DIN memerlukan sekitar $1-5\mu\text{L}$.

K. Kerangka Teori



Gambar 2.2 Kerangka teori modifikasi dari ATSDR (*Agency for Toxic Substances and Disease Register*), 2007: Environmental & Protection Agency (Integrated Risk Information System, 2002: Rahman, 2007 dalam Saputro, 2015).