

**ANALISIS RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN AKIBAT PAJANAN
TIMBAL DAN TEMBAGA MELALUI KONSUMSI KUBIS/KOL (*Brassica
oleracea* var. *Capitata* L.) PADA MASYARAKAT DI WILAYAH
KABUPATEN ENREKANG TAHUN 2024**



**NUR ANDINI PUSPITA AMALIA
K011201129**



**PROGRAM STUDI KESEHATAN MASYARAKAT
FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**ANALISIS RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN AKIBAT PAJANAN
TIMBAL DAN TEMBAGA MELALUI KONSUMSI KUBIS/KOL (*Brassica
oleracea* var. *Capitata* L.) PADA MASYARAKAT DI WILAYAH
KABUPATEN ENREKANG TAHUN 2024**

**NUR ANDINI PUSPITA AMALIA
K011201129**



**PROGRAM STUDI KESEHATAN MASYARAKAT
FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**ANALISIS RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN AKIBAT PAJANAN
TIMBAL DAN TEMBAGA MELALUI KONSUMSI KUBIS/KOL (*Brassica
oleracea* var. *Capitata* L.) PADA MASYARAKAT DI WILAYAH
KABUPATEN ENREKANG TAHUN 2024**

NUR ANDINI PUSPITA AMALIA
K011201129

Skripsi

sebagai salah satu syarat mencapai gelar sarjana

Program Studi Kesehatan Masyarakat

pada

**PROGRAM STUDI KESEHATAN MASYARAKAT
FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

SKRIPSI

**ANALISIS RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN AKIBAT PAJANAN
TIMBAL DAN TEMBAGA MELALUI KONSUMSI KUBIS/KOL (*Brassica
oleracea* var. *Capitata* L.) PADA MASYARAKAT DI WILAYAH
KABUPATEN ENREKANG TAHUN 2024**

NUR ANDINI PUSPITA AMALIA

K011201129

Skripsi,

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Sarjana Kesehatan
Masyarakat pada tanggal 13 Agustus 2024 dan dinyatakan telah memenuhi
syarat kelulusan
pada

Program Studi S1 Kesehatan Masyarakat
Fakultas Kesehatan Masyarakat
Universitas Hasanuddin
Makassar

Mengesahkan,

Pembimbing 1,



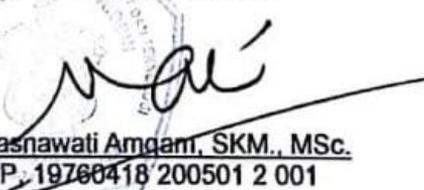
Prof. Anwar, SKM, CM.Sc., Ph.D
NIP. 19740816 199903 1 002

Pembimbing 2,



Muh. Fajaruddin Natsir, SKM., M.Kes
NIP. 19890211 201504 1 002

Mengetahui:
Ketua Program Studi,


Dr. Hasnawati Amgani, SKM., MSc.
NIP. 19760418 200501 2 001

**PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI
DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA**

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Akibat Paparan Timbal Dan Tembaga Melalui Konsumsi Kubis/Kol (*Brassica Oleracea* Var. *Capitata* L.) Pada Masyarakat Di Wilayah Kabupaten Enrekang Tahun 2024" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing Prof. Anwar, SKM.,M.Sc.,PhD selaku Pembimbing I, Muh. Fajaruddin Natsir, SKM.,M.Kes selaku Pembimbing II. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 13 Agustus 2024



NUR ANDINI PUSPITA AMALIA
K011201129

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah segala puji bagi Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas berkat, rahmat dan karunia-Nya serta telah menggerakkan hati berbagai pihak untuk membantu Penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul "Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Akibat Paparan Timbal Dan Tembaga Melalui Konsumsi Kubis/Kol (*Brassica Oleracea* var. *capitata* L.) Pada Masyarakat Di Wilayah Kabupaten Enrekang Tahun 2024". Kepada Suri Tauladan Terbaik Penulis ucapkan terima kasih dan tidak lupa salam dan sholawat senantiasa tercurah kepada Beliau Nabi sekaligus Rasul terakhir Muhammad ﷺ, para sahabatnya, dan semua yang mengikuti ajarannya.

Penulis ucapkan terima kasih kepada Prof. Anwar, SKM.,M.Sc.,Ph.D sebagai pembimbing I, Muh. Fajaruddin Natsir, SKM.,M.Kes sebagai pembimbing II, Dr. Agus Bintara Birawida, S.Kel.,M.Kes dan Awaluddin, SKM.,M.Kes selaku penguji yang telah memberikan arahan, masukan, serta dengan sabar membimbing penulis dalam setiap proses penyusunan skripsi ini. Serta kepada Kepala Desa Patongloan yaitu Bapak Atto Sainal beserta jajarannya yang telah mengizinkan peneliti untuk melaksanakan penelitian di lapangan dan memberikan dukungan dalam proses penelitian.

Penulis ucapkan terima kasih atas bantuan dalam keberlangsungan proses awal hingga akhir perkuliahan ini kepada Prof. Dr. Jamaluddin Jompa, M.Si selaku rektor Unhas dan seluruh civitas akademisi di Universitas Hasanuddin, Prof. Sukri Palutturi SKM., M.Kes., M.Sc, Ph.D selaku Dekan beserta seluruh jajarannya di Fakultas Masyarakat Universitas Hasanuddin. Kepada Indra Dwinata, SKM, MPH selaku pembimbing akademik, Penulis mengucapkan terima kasih atas segala bantuan yang telah diberikan di tiap semesternya. Ucapan terima kasih yang setinggi-tingginya juga Penulis ucapkan kepada Dr. Erniwati Ibrahim, SKM., M.Kes selaku ketua Departemen Kesehatan Lingkungan dan seluruh dosen serta staf Departemen Kesehatan Lingkungan, atas segala bantuan, arahan, dan ilmunya yang sangat bermanfaat bagi Penulis.

Penulis mengucapkan limpahan terima kasih kepada bapak alm. Jahidin Massing yang telah mendahului kita semua dan semoga senantiasa di lapangkan kuburannya dan ditempatkan di sisi Allah yang terbaik, serta ibu Hasmiati dan bapak Irman yang telah mendidik Penulis untuk tetap kuat menghadapi berbagai hal di dunia ini. Penulis juga sampaikan terima kasih kepada kedua kakak dan kedua adik atas motivasi, dukungan, dan kebersamaan dalam keheningan yang sangat tak ternilai. Serta semua keluarga alm. Bapak yang senantiasa memberikan dukungan dalam bentuk motivasi dan materi kepada penulis dalam menjalani pendidikan.

Kepada saudara/i yang mungkin tidak dapat Penulis ucapkan satu persatu baik yang terlihat secara nyata maupun dalam dunia maya. Karena atas bantuan dalam berbagai hal yang jika dilihat sederhana namun sebenarnya sangat bermakna. Semoga Allah SWT memberikan balasan dan melimpahkan keberkahan kepada kita semua.

Penulis,

Nur Andini Puspita Amalia

ABSTRAK

NUR ANDINI PUSPITA AMALIA. **Analisis risiko kesehatan lingkungan akibat paparan timbal dan tembaga melalui konsumsi kubis/kol (*Brassica oleracea* var. *Capitata* L.) pada masyarakat di wilayah Kabupaten Enrekang tahun 2024** (dibimbing oleh Anwar Mallongi dan Muh. Fajaruddin Natsir).

Latar Belakang: Kontaminasi logam berat timbal dan tembaga pada bahan pangan telah banyak ditemukan pada makanan. Kubis/kol merupakan sayuran yang diketahui terdapat kandungan pestisida serta menjadi kebutuhan bahan pangan yang masyarakat konsumsi. Keberadaan pestisida berkaitan dengan proses produksi pada kubis/kol. Dikhawatirkan akibat penggunaan pestisida dan pupuk pada lahan pertanian menjadi indikator yang dapat menyebabkan adanya cemaran timbal dan tembaga yang dapat menimbulkan masalah di lingkungan dan kesehatan. **Tujuan:** Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis risiko akibat paparan timbal dan tembaga melalui konsumsi kubis/kol di wilayah Desa Patongloan, Kabupaten Enrekang **Metode:** Desain penelitian yang digunakan *Cross Sectional* dengan metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). Teknik pengambilan sampling yang digunakan bersifat *purposive sampling* dengan total sampel sebanyak 102 responden dan 7 sampel lingkungan. **Hasil:** Berdasarkan uji *Kolmogrov-Smirov*, data konsentrasi menghasilkan nilai signivikan $>0,05$ yang berarti nilai kandungan timbal diperoleh sebesar 1,3671 mg/kg dan nilai tembaga 1,4757 mg/kg. Hasil perhitungan RQ didapati 102 responden memiliki nilai RQ *Realtime* timbal dan tembaga >1 . **Kesimpulan:** Risiko masyarakat yang mengonsumsi kubis/kol berada dalam kategori tidak aman.

Kata kunci: Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan; Kubis/Kol; Tembaga; Timbal

ABSTRACT

NUR ANDINI PUSPITA AMALIA. **Environmental health risks assessment due to exposure to lead and copper in through consumption cabbage (*Brassica oleracea* var. *Capitata* L.) in the community in Enrekang District** (supervised by Anwar Mallongi and Muh. Fajaruddin Natsir).

Background: Heavy metal contamination of lead and copper in food is commonly found in staple foods, fruits and vegetables. Cabbage is a vegetable that is known to contain pesticides and is a necessity for food consumed by the community. The presence of pesticides is associated with the production process in cabbage. It is feared that the use of pesticides and fertilizers on agricultural land is an indicator that can cause lead and copper contamination which can cause environmental and health problems. **Purpose:** This study purpose to analyze the risk due to lead and copper exposure through cabbage consumption in the Patongloan Village area, Enrekang Regency Methods: The research design used was Cross Sectional with the Environmental Health Risk Analysis (EHRA) method. The sampling technique used was purposive sampling with a total sample of 102 respondents and 7 environmental samples. **Results:** Based on the Kolmogrov-Smirov test, the concentration data produced a significant value > 0.05 which means that the lead content value was obtained at 1.3671 mg/ kg and a copper value of 1.4757 mg/ kg. The results of the RQ calculation found that 102 respondents had Realtime RQ values of lead and copper >1 . **Conclusion:** The risk of people consuming cabbage is in the unsafe category.

Keywords: Environmental Health Risks Assessment; Cabbage; Copper; Lead

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN PENGAJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian.....	6
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1 Tinjauan Umum tentang Sayur Kubis/kol	8
2.2 Tinjauan Umum tentang Logam Berat.....	9
2.3 Tinjauan Umum tentang Logam Timbal.....	10
2.4 Tinjauan Umum tentang Logam Tembaga.....	11
2.5 Tinjauan Umum tentang Analisis Logam Berat dalam Kubis/kol	12
2.6 Tinjauan Umum tentang Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan.....	13
2.7 Kerangka Teori	17
2.8 Sintesa Penelitian.....	18
2.9 Kerangka Konsep.....	22
BAB III METODE PENELITIAN.....	26
3.1 Metode, Jenis, dan Desain Penelitian	26
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian	26
3.3 Populasi dan Sampel	27
3.4 Alat, Bahan, dan Cara Kerja.....	30
3.5 Pengumpulan Data.....	30

3.6 Pengolahan dan Analisis Data	30
3.7 Penyajian Data	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian	33
4.2 Hasil	35
4.3 Pembahasan	42
4.4 Keterbatasan Penelitian	48
BAB V KESIMPULAN	50
5.1 Kesimpulan	50
5.2 Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN	58
RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Nomor urut	Halaman
1. Tabel Sintesa Penelitian.....	18
2. Definisi Operasional dan Kriteria Objektif	23
3. Tabel Contoh Pengambilan Padatan	26
4. Distribusi Sebaran Sampel Manusia di Desa Patongloan berdasarkan Dusun di Desa patongloan.....	35
5. Distribusi Responden Berdasarkan Umur di Desa Patongloan Tahun 2024	35
6. Distribusi Responden Berdasarkan Jenis Kelamin di Desa Patongloan Tahun 2024.....	36
7. Distribusi Responden Berdasarkan Lama Menetap di Desa Patongloan Tahun 2024.....	36
8. Distribusi Frekuensi Variabel Frekuensi Paparan, Laju Asupan, Durasi Paparan, dan Berat Badan Responden di Desa Patongloan Tahun 2024.....	37
9. Distribusi Responden Berdasarkan Frekuensi Paparan di Desa Patongloan Tahun 2024.....	37
10. Distribusi Responden Berdasarkan Laju Asupan di Desa Patongloan Tahun 2024	37
11. Distribusi Responden Berdasarkan Durasi Paparan di Desa Patongloan Tahun 2024	38
12. Distribusi Responden Berdasarkan Berat Badan di Desa Patongloan Tahun 2024	38
13. Hasil Analisis Konsentrasi Timbal dan Tembaga pada Kubis/kol Desa Patongloan Tahun 2024	39
14. Hasil Analisis Statistik Konsentrasi Timbal dan Tembaga pada Kubis/kol Desa Patongloan Tahun 2024	39
15. Perhitungan Intake Risiko Non-karsinogenik Paparan Timbal dan Tembaga <i>Realtime</i>	40
16. Perhitungan Risiko Efek Non-karsinogenik Paparan Timbal dan Tembaga <i>Realtime</i>	40
17. Distribusi Frekuensi Responden Desa Patongloan Berdasarkan RQ Timbal dan Tembaga Non-karsinogenik <i>Realtime</i>	41

18. Hasil Perhitungan Manajemen Risiko Konsentrasi Aman Timbal dan Tembaga Non-karsinogenik.....	41
19. Hasil Perhitungan Manajemen Risiko Laju Asupan Aman Timbal dan Tembaga Non-karsinogenik.....	42

DAFTAR GAMBAR

Nomor urut	Halaman
1. Kerangka Teori.....	17
2. Kerangka Konsep	22
3. Peta Batas Wilayah Desa Patongloan	26
4. Peta Titik Pengambilan Sampel Kubis/Kol dan Sampel Responden di Wilayah Desa Patongloan	34

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor urut	Halaman
1. Kuesioner Penelitian.....	57
2. Master Tabel	58
3. Output Analisis Data	63
4. Surat Izin Penelitian.....	80
5. Hasil Pemeriksaan Konsentrasi Timbal dan Tembaga.....	82
6. Dokumentasi Penelitian	83
7. Riwayat Hidup.....	84

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pencemaran lingkungan merupakan salah satu isu penting saat ini karena dapat merusak tatanan kehidupan. Adanya keberadaan logam berat menjadi salah satu penyebab pencemaran lingkungan yang dapat berdampak pada kesehatan manusia. Logam berat dapat ditemukan pada limbah industri, pertambangan, pertanian, dan rumah tangga. Masuknya logam berat ke tubuh manusia yang dapat mengganggu kesehatan salah satunya disebabkan adanya kontaminasi pada makanan yang dikonsumsi. Menurut *World Health Organization* (WHO), yang menyatakan bahwa makanan yang terkontaminasi dapat menyebabkan lebih dari 200 penyakit berbeda di seluruh dunia. Logam berat yang terakumulasi dalam tubuh sendiri dapat menyebabkan berbagai macam penyakit, termasuk kanker.

Berdasarkan informasi *World Health Organization*, bahwa penyebab kematian 12,6 juta orang pertahun salah satunya disebabkan oleh bahan kimia ini. Studi di negara maju menunjukkan bahwa tingkat kejadian keracunan pada pekerja pertanian telah dialami sekitar 18,2 per 100.000 pekerja. Selain itu, kasus keracunan pestisida di Srilangka sebanyak 180 per 100.000 pekerja pertanian dan sekitar 17,8 per 100.000 pekerja pertanian terjadi di Thailand.

Selain itu, menurut hasil temuan yang dinyatakan dalam sebuah laporan baru yang diluncurkan oleh UNICEF dan *Pure Earth* pada tahun 2020 bahwa keracunan logam berat salah satunya timbal dialami begitu banyak anak saat ini dan dalam kadar yang belum pernah terjadi sebelumnya. Ditemukan bahwa sekitar 1 dari 3 anak atau hingga 800 juta anak di dunia memiliki kadar timbal dalam darah sebesar atau lebih dari 5 mikrogram per desiliter ($\mu\text{g/dL}$). Sedangkan efek dari keracunan timbal pada awalnya tidak menimbulkan banyak gejala, sehingga hal ini justru menjadi bahaya laten terhadap kesehatan dan tumbuh kembang anak dengan konsekuensi yang bisa jadi fatal.

Makanan yang terkontaminasi logam berat biasanya dapat disebabkan melalui proses produksinya, misalnya ketika dalam tahap penanaman atau sebelum masa panen. Bahan pangan seperti sayuran dalam proses produksinya, petani biasanya menggunakan pestisida yang merupakan senyawa substansi kimia yang digunakan untuk mengendalikan berbagai hama pada tanaman dan untuk menunjang produksi hasil pertanian (Rahmasari & Musfirah, 2020). Selain itu, lahan untuk budidaya sayuran yang ditanami berulang kali dalam jangka waktu yang sangat lama menyebabkan menipisnya unsur hara intrinsik tanah sehingga memaksa petani untuk bergantung pada pupuk untuk mempertahankan produksi dan meningkatkan hasil sayuran tersebut (Ai et al., 2020).

Pestisida yang digunakan berulang kali dalam kurun waktu yang singkat selama waktu pertumbuhan bahkan tetap digunakan menjelang hari panen bertujuan untuk meningkatkan hasil dan kualitas produknya. Dengan kata lain,

penggunaan pestisida yang berlebihan ini dapat menyebabkan pencemaran pada bahan pangan, air, dan lingkungan sekitar. Sehingga, residu yang telah mencemari bahan pangan, air, dan lingkungan dapat masuk ke tubuh manusia melalui jalur inhalasi atau ingesti (Safitri et al., 2019).

Residu pestisida pada tanaman dipengaruhi oleh dosis, interval aplikasi, faktor lingkungan fisik, formulasi pestisida, jenis bahan aktif, dan persistensinya (Zulfa et al., 2018). Residu yang terdapat pada hasil pertanian yang dikonsumsi manusia dan hewan akan berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan. Tingkat residu pestisida yang tinggi juga dapat meningkatkan konsentrasi logam berat dalam tanah, mengakibatkan logam terakumulasi dalam tanaman dan masuk ke dalam rantai makanan (Ruhban & Kurniati, 2019). Selain itu, bersifat akumulatif di dalam tubuh manusia, sehingga akan memberikan dampak negatif terhadap kesehatan manusia yang mengonsumsi sayuran yang mengandung residu pestisida secara terus menerus (Herdariani, 2014).

Menurut Organisasi Pangan dan Pertanian Perserikatan Bangsa Bangsa (FAO), total penggunaan pestisida pada lahan pertanian di seluruh dunia mencapai sekitar 3,54 juta ton pada tahun 2021. Namun, perkiraan terbaru menunjukkan bahwa konsumsi pestisida akan sedikit meningkat dalam beberapa tahun mendatang. Sekitar 4,3 juta ton pada tahun 2023 dan diperkirakan sekitar 4,41 juta ton pada tahun 2027 (FAO, 2023). Berdasarkan data Asosiasi Produsen Pupuk Indonesia (APPI) menyatakan bahwa penggunaan pupuk urea dan pupuk NPK (Nitrogen, Pospat, Kalium) menjadi jenis pupuk paling banyak digunakan semenjak tahun 2017 hingga 2023 dan pada semester awal tahun 2023 konsumsi pupuk tersebut di Indonesia mencapai 3,5 juta ton pupuk urea dan 1,4 juta ton pupuk NPK (APPI, 2023).

Pestisida dan pupuk anorganik diduga mengandung logam berat salah satunya timbal dan tembaga, hal ini dikarenakan pada bahan tersebut sendiri telah mengandung logam timbal dan tembaga (Rasman & Hasmayani, 2018). Lebih lanjut terkait indikasi adanya timbal di dalam pestisida, karena pestisida cair dibuat dengan melarutkan bahan aktif dengan pelarut *xylene*, *naftalen* dan *kerosen*. Bahan-bahan dengan pelarut yang menggunakan *kerosen* atau minyak tanah yang merupakan hasil penyulingan minyak mentah dan zat pembawa misal kaolin, kapur, pasir dan tanah liat yang dicampurkan dalam formulasi pestisida, dan mengandung logam berat timbal atau plumbum (Karyadi, 2011 dalam Arlinda et al., 2023).

Hasil penelitian mengenai kandungan timbal dan tembaga pada pestisida dan pupuk yang dilakukan Parmiko., et al (2014) dan Khaira (2018) menyatakan bahwa pupuk NPK mengandung logam berat tembaga sebesar 16,9527 mg/kg dan timbal berkisar 5 – 156 mg/kg, maka dari itu tentu hal tersebut dapat menimbulkan konsentrasi tembaga dan timbal di dalam tanah serta akan semakin banyak jika dilakukan secara terus-menerus dalam jangka waktu yang lama. Konsentrasi tembaga dan timbal di tanah yang terakumulasi dapat berdampak pada keberadaan logam berat pada hasil produksi.

Selain pupuk, pestisida juga mengandung logam berat seperti timbal dan tembaga dalam jumlah yang tinggi. Pada penelitian yang dilakukan Senesil et al (1999 dikutip dalam Handayani et al., 2022) melaporkan bahwa pestisida mengandung tembaga 4 – 56 ppm dan timbal 11 – 60 ppm. Kemudian, terdapat juga studi kasus yang dilakukan oleh Balai Penelitian dan Pengembangan Industri Semarang di lahan pertanian bawang merah Kabupaten Kendal, menyatakan bahwa kandungan logam berat timbal terdapat pada beberapa jenis pestisida, meliputi *Antracol 70 WP*, *Dithane M 45 WP*, *Furudan 3G*, *Goal 240 EC*, *Buldog 25 EC*, *Hostathion 200 EC*, dan *Profile 430 EC*. Kadar timbal terendah yaitu jenis pestisida *Goal 240 EC* sebesar 0,87 mg/kg dan tertinggi pada pestisida jenis *Dithane* sebesar 19,37 mg/kg (Puspitaloka et al., 2018).

Logam berat bersifat tidak dapat dihancurkan (*non degradable*) sehingga logam berat menjadi salah satu bahan pencemar berbahaya. Seperti halnya tembaga, logam berat ini walaupun dibutuhkan tubuh dalam berbagai proses metabolisme seperti pembentukan zat besi yang berguna untuk meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan pada anak, perkembangan fungsi otak, meningkatkan kekuatan tulang, dan fungsi imun (Taylor et al., 2022). Akan tetapi, jika kadar tembaga tinggi akan memberikan dampak negatif terhadap lingkungan biotik maupun abiotik karena termasuk logam berat yang bersifat tidak mudah dihancurkan.

Selain itu, timbal atau yang juga dikenal sebagai timah hitam adalah salah satu logam berat yang berbahaya bagi kesehatan manusia yang ditemukan di kerak bumi atau berasal dari aktivitas manusia. Timbal berakumulasi dalam tubuh manusia dan dapat membahayakan tubuh bahkan dalam dosis rendah (Putri Mayaserli et al., 2023). Hal ini berbeda dengan tembaga, timbal belum diketahui manfaatnya jika terdapat di dalam tubuh sehingga dalam dosis rendah bisa berdampak bagi kesehatan.

Paparan dari timbal dapat menyebabkan efek samping seperti kerusakan pada otak dan sistem saraf, pertumbuhan dan perkembangan melambat serta penurunan IQ pada anak-anak (CDC, 2022). Selain timbal, kontaminasi tembaga pada sayuran yang dikonsumsi secara berlebihan akan menimbulkan gambaran klinis pada tubuh. Menurut Anant.,dkk (2018) dalam penelitiannya tentang "*An Overview Of Copper Toxicity Relevance To Public Health*" bahwa gambaran klinis ketika keracunan akut tembaga melalui konsumsi makanan yaitu rasa tidak enak di lidah, penyakit kuning, hingga gagal ginjal, dan koma. Terlebih ketika keracunan tembaga telah berlangsung lama akan menimbulkan penyakit kronis seperti anemia, sakit perut, neuritis perifer hingga Wilson-Kinsky.

Akibat dampak berbahaya yang dihasilkan oleh timbal dan tembaga, maka terdapat aturan batasan cemaran logam berat pada makanan. Berdasarkan pada pedoman Standar Nasional Indonesia (SNI) 7387:2009 dan Badan Pengawas Obat dan Makanan 2018 untuk batas maksimum cemaran logam berat timbal dalam makanan yaitu sebesar 0,5 mg/kg dan 0,2 mg/kg. Kemudian, aturan batasan tembaga diatur yaitu menurut Direktur Jenderal

Pengawasan Farmasi dan Makanan (POM) RI, Ditjen pengawasan obat dan makanan (POM) RI Tahun 1989, menetapkan batas maksimum cemaran logam berat tembaga yaitu sebesar 5 mg/kg.

Kubis/kol merupakan tanaman yang paling sering ditemukan kandungan residu pestisida dan logam beratnya. Kontaminasi timbal dan tembaga pada kubis/kol dapat terjadi melalui pemberian pupuk, pestisida, irigasi air, dan faktor alami dalam kandungan tanah. Penggunaan pestisida merupakan pilihan utama cara mengendalikan hama, penyakit dan gulma, karena dapat membunuh langsung jasad pengganggu. Kemanjurannya dapat diandalkan, penggunaannya mudah, tingkat keberhasilannya tinggi, ketersediaannya mencukupi dan mudah di dapat serta biayanya relatif murah. Namun, penggunaan pestisida juga merugikan (Dhiaswari, 2019).

Kubis/kol merupakan salah satu tanaman hortikultura dan diperlukan oleh masyarakat baik dalam bentuk olahan maupun secara langsung. Berdasarkan hasil Survei Sosial Ekonomi Nasional (SUSENAS) terkait jumlah rata-rata konsumsi per kapita kubis/kol pada tahun 2023 yaitu sebesar 0,0301 kg/kap/minggu dan 1,568 kg/kap/tahun. Jika dibandingkan sejak tahun 2022 – 2023 pertumbuhan konsumsi meningkat sebesar 7,49% kg/kap baik per minggu ataupun tahun.

Enrekang adalah salah satu wilayah di Sulawesi Selatan yang menjadi penghasil tanaman hortikultura kubis/kol terbesar. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS) Sulawesi Selatan menyatakan bahwa pada tahun 2020 Kabupaten Enrekang menjadi wilayah dengan produksi tanaman hortikultura terbesar yaitu sayur kubis/kol sebanyak 363.606 kuintal atau 64,7% di wilayah Sulawesi Selatan (BPS, 2024). Terdapat salah satu wilayah di Kabupaten Enrekang yang terkenal dengan produksi sayur kubis/kol yaitu Kecamatan Baroko. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Kabupaten Enrekang, Kecamatan Baroko menjadi penghasil sayur kubis/kol urutan ke-4 terbanyak di wilayah Kabupaten Enrekang pada tahun 2022 sebanyak 27.600 kuintal. Kecamatan Baroko memiliki salah satu Desa penghasil kubis/kol yaitu Desa Patongloan (BPS, 2023).

Desa Patongloan terkenal dengan lahan pertanian kubis/kol. Banyaknya lahan pertanian dan kegiatan pemanenan kubis/kol yang terjadi hampir setiap bulannya menjadikan masyarakat desa dapat dengan mudah mendapatkan kubis/kol sebagai sayur untuk kebutuhan konsumsi. Akan tetapi, dikhawatirkan akibat penggunaan pestisida dan pupuk pada lahan pertanian menjadi indikator yang akan dapat menyebabkan adanya cemaran timbal dan tembaga pada hasil produksinya. Selain itu, penggunaan pestisida dan pupuk yang tidak tepat sasaran dapat menimbulkan masalah di lingkungan dan kesehatan.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menilai dampak kesehatan akibat pajanan logam berat baik timbal dan tembaga pada makanan yang dikonsumsi adalah dengan menggunakan metode analisis risiko kesehatan lingkungan (ARKL). ARKL adalah proses analisis yang dilakukan

untuk menghitung atau mengetahui risiko organisme atau populasi akibat paparan oleh agent tertentu. Metode ARKL diupayakan agar dapat mengidentifikasi bahaya dan kerugian yang nantinya akan terjadi, memahami hubungan dosis agen risiko terhadap respon tubuh, mengukur besar paparan agen risiko, serta menetapkan tingkat risiko beserta efek kesehatan pada populasi (Direktorat Jendral P2 et al. 2012). Kemudian metode ARKL dilakukan guna menentukan perlu atau tidaknya pengendalian akibat paparan timbal dan tembaga pada masyarakat.

Penelitian terkait analisis risiko paparan timbal pada sampel sayuran terdapat pada hasil penelitian Le et al., 2019 mengenai risiko paparan timbal di wilayah Dataran Tinggi Vietnam. Penelitian ini dilakukan terhadap 10 sampel sayuran yang diambil pada dua lokasi yang berbeda yaitu dekat dengan stasiun bus dan jauh dari stasiun bus. Hasil penelitian ini menyatakan bahwa terdapat risiko paparan timbal pada manusia melalui konsumsi sayuran. Hal ini karena hasil perhitungan menunjukkan $RQ > 1$.

Selain itu, penelitian tersebut tidak sejalan dengan yang dilakukan di dalam negeri oleh Anindityo., et al (2021) terkait konsentrasi timbal pada sayuran di Desa Kopeng bahwa dari perhitungan risiko kesehatan non karsinogenik dan karsinogenik menunjukkan bahwa sayuran tidak menimbulkan risiko kesehatan pada manusia. Dibuktikan dengan nilai efek non karsinogenik < 1 . Akan tetapi tetap dianjurkan untuk mencuci sayuran menggunakan air bersih yang mengalir sebelum dikonsumsi karena dalam sayuran masih terdapat konsentrasi logam berat timbal berkisar antara 0,010 mg/kg hingga 0,168 mg/kg. Salah satu sumber dari pencemaran logam berat pada sektor pertanian di Desa Kopeng adalah penggunaan agrokimia berupa pestisida kimia.

Selanjutnya, penilaian analisis risiko paparan tembaga dalam penelitian yang dilakukan oleh Priyadi et al., 2023 terhadap konsumsi biji kedelai bahwa hasil menunjukkan nilai THQ 0,001 berarti tidak berpotensi menimbulkan konsekuensi kesehatan non-karsinogenik yang bersifat kronis. Hal ini diperkuat dengan nilai $THQ < RfD$, akan tetapi para pemangku kepentingan harus tetap waspada dalam mengurangi kontaminan tembaga pada lahan pertanian untuk menghindari risiko kesehatan yang signifikan di masa depan, dengan cara menerapkan praktik pertanian yang baik secara konsisten dan mengurangi kegiatan antropogenik penggunaan pupuk organik.

Telah dilakukan studi pendahuluan di salah satu wilayah Kabupaten Enrekang yaitu Desa patongloan dengan observasi lingkungan dan wawancara terhadap beberapa warga dan sekretaris desa, berdasarkan hasil wawancara bahwa Desa Patongloan $\pm 50\%$ wilayah digunakan untuk lahan pertanian dan hasil pertanian dijadikan bukan hanya untuk mencukupi kebutuhan ekonomi tetapi sebagai kebutuhan konsumsi harian. Menurut warga sendiri bahwa walaupun mereka mengetahui kubis/kol tersebut terkena racun "pestisida dan pupuk" tapi mereka tetap mengonsumsinya. Selain itu, terkait pemberian pupuk dan pestisida menurut warga ketika musim hujan akan dilakukan pemberian berulang kali dari biasanya agar hasil produksi kubis/kol berkualitas baik tanpa

hama serta diketahui bahwa pestisida yang digunakan oleh petani sebagian besar berbeda-beda dan pemberian dosis juga beragam.

Berdasarkan hal tersebut maka peneliti tertarik untuk melakukan penelitian di Desa Patongloan karena terlihat bahwa belum ada praktik pertanian yang baik yang digunakan sehingga dikhawatirkan dapat berdampak pada kontaminasi logam berat pada sayuran dan perlu diketahui bahwa metode analisis risiko kesehatan sebelumnya juga belum pernah dilakukan. Oleh karena itu, data tersebut memperkuat peneliti untuk menganalisis risiko kesehatan lingkungan akibat paparan timbal dan tembaga melalui konsumsi kubis/kol di wilayah Desa Patongloan, Kecamatan Baroko, Kabupaten Enrekang.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah berdasarkan latar belakang diatas yaitu “Bagaimana analisis risiko kesehatan lingkungan akibat paparan timbal dan tembaga melalui konsumsi kubis/kol (*Brassica oleracea* var. *Capitata* L.) pada masyarakat di wilayah kabupaten enrekang tahun 2024?”.

1.3 Tujuan Penelitian

1.3.1 Tujuan Umum

Tujuan umum dari penelitian ini yaitu untuk menganalisis risiko kesehatan lingkungan akibat paparan timbal dan tembaga melalui konsumsi kubis/kol pada masyarakat di wilayah Desa Patongloan Kabupaten Enrekang tahun 2024.

1.3.2 Tujuan Khusus

Adapun tujuan khusus dalam penelitian ini yaitu, sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi konsentrasi timbal dan tembaga pada kubis/kol yang dikonsumsi masyarakat di Desa Patongloan Kabupaten Enrekang tahun 2024.
2. Menghitung nilai *intake* non-karsinogenik *realtime* kandungan timbal dan tembaga pada kubis/kol yang dikonsumsi masyarakat di Desa Patongloan Kabupaten Enrekang tahun 2024.
3. Menghitung karakteristik risiko *Risk Quotient* (RQ) timbal dan tembaga pada kubis/kol yang dikonsumsi masyarakat di Desa Patongloan Kabupaten Enrekang tahun 2024.
4. Menghitung manajemen risiko kandungan timbal dan tembaga pada kubis/kol yang dikonsumsi masyarakat Desa Patongloan Kabupaten Enrekang tahun 2024.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Manfaat Ilmiah

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi pedoman untuk menambah pengetahuan bagi penelitian selanjutnya mengenai analisis risiko kesehatan lingkungan terhadap paparan logam berat timbal dan tembaga melalui konsumsi kubis/kol.

2. Manfaat Bagi Institusi

Semoga dengan adanya penelitian ini bermanfaat bagi civitas akademik sebagai referensi maupun informasi terkait analisis risiko kesehatan

lingkungan dan hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dibidang kesehatan khususnya kesehatan lingkungan.

3. Manfaat Bagi Peneliti

Memenuhi syarat penyelesaian tugas akhir untuk mencapai gelar sarjana kesehatan masyarakat. Menambah wawasan, informasi, dan sarana belajar dalam mengimplementasikan materi yang telah diperoleh pada masa perkuliahan khususnya logam berat untuk masa mendatang.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum tentang Sayur Kubis/kol

Sayur atau sayuran adalah pangan nabati yang biasanya mengandung kadar air yang tinggi, serta biasa dikonsumsi dalam keadaan mentah atau segar ataupun diolah dengan teknik tertentu (Harper, 2023). Sayuran juga memiliki kandungan lemak dan karbohidrat yang rendah, dengan kandungan tinggi vitamin, mineral dan serat yang sangat berperan penting bagi kesehatan manusia (Ülger et al., 2018). Sayuran berkontribusi lebih dari 20% dari pasokan enam nutrisi seperti vitamin C (51,8%), kalium (32,5%), folat (31,0%), vitamin A (30,6%), vitamin B6 (27,8%), dan magnesium (20,2%), serta serat (31,8%) (Górska-Warsewicz et al., 2021).

Menurut Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), mengonsumsi harian buah dan sayuran dapat menurunkan risiko beberapa penyakit tidak menular (PTM). Selain itu, makan buah-buahan dan sayuran sebagai bagian dari diet sehat rendah gula, garam, dan lemak diperkirakan membantu mencegah kenaikan berat badan dan obesitas, yang merupakan faktor risiko independen untuk PTM (WHO, 2019).

Kubis/kol adalah tumbuhan dwimusim atau ekamusim berdaun hijau yang menurut sejarah berasal dari Eropa sebelum 1000 SM. Kata kubis diambil dari bahasa Jawa “gubis” yang diserap dari bahasa Portugis “*couves*” sedangkan kol sendiri diambil dari bahasa Belanda “*kool*”. Masyarakat Desa Patongloan sendiri menyebut sayur kubis/kol dengan sebutan “kolo” sehingga masih sedikit orang mengetahui istilah kubis. Tanaman ini cocok berada di daerah beriklim sub tropis, sehingga dapat tumbuh di Indonesia dengan ketinggian antara 1000 – 2000meter dpl atau di daerah dataran tinggi. Suhu temperatur untuk pertumbuhan dan produksi kira-kira antara 15°C – 18°C dan *maximum* pada suhu 24°C (Handayani, 2021 dalam Rukmana, 1994). Berikut ini klasifikasi dari tanaman kubis/kol yang dapat dijabarkan sebagai berikut (Susilawati, 2017):

- Divisi : Spermatophyte
- Subdivisi : Angiospermae
- Kelas : Dicotyledonae
- Ordo : Papavorales
- Famili : Cruciferae (Brassicaceae)
- Genus : Brassica
- Spesie : *Brassica oleracea* L. var. capitata L.

Menurut United State Department of Agrilture (USDA) bahwa dalam 100gram (gr) kubis/kol mentah mengandung 91,9 gr air dengan 28 kkal. Selain itu, terdapat beragam nutrisi lainnya seperti protein, lemak, karbohidrat, vitamin (Vit C, Vit B6, Vit K, dll), serta kandungan beragam jenis mineral di dalamnya (USDA, 2022). Kandungan yang kaya akan berbagai macam nutrisi pada

kubis/kol menjadikan kubis/kol sangat bermanfaat bagi kesehatan tubuh. Berikut ini beberapa manfaat mengonsumsi kubis/kol, sebagai berikut:

1. Menurunkan kadar kolesterol

Kandungan akan polifenol di dalam kubis/kol bermanfaat untuk menurunkan konsentrasi kolesterol dalam sel darah merah (Andari et al., 2023).

2. Antioksidan

Kubis/kol memiliki zat pigmen warna yaitu berupa antosianin yang memiliki potensi melawan radikal bebas. Hal ini dapat mencegah penyakit jantung, kanker, dan juga penuaan dini. Selain itu, kandungan vitamin C dan E serta betakaroten pada kubis/kol membantu antosianin sebagai antioksidan (Andari et al., 2023).

3. Mencegah kanker

Kubis/kol mengandung salah satu senyawa yang mengandung belerang yang biasa disebut zat glukosinolat. Senyawa ini berfungsi sebagai anti kanker karena senyawa ini akan dipecah menjadi senyawa biologi aktif seperti isotiosinat dan indole yang berguna dalam menghentikan perkembangan jenis kanker (Oloyede et al., 2021).

Akan tetapi, dengan manfaat-manfaat yang telah disebutkan di atas, kubis/kol juga dapat menimbulkan efek samping dikarenakan kesalahan dalam pengolahannya. Salah satunya, olahan kubis/kol yang biasa dikenal dengan bakwan dapat menyerap minyak yang mengandung LDL sehingga kubis/kol memiliki tingkat radikal bebas yang tinggi. Sehingga berisiko terjadi kenaikan berat badan berlebih. Hal ini dikarenakan minyak goreng yang kaya akan lemak jenuh dan lemak trans yang dapat menumpuk dalam tubuh manusia. Tidak hanya memiliki kenaikan berat badan berlebih, makanan tinggi lemak juga meningkatkan risiko berbagai penyakit, seperti diabetes hingga penyakit jantung (Abdurrahman & Kurniasari, 2023).

Selain itu, untuk keberhasilan produksi tanaman kubis/kol maka petani menggunakan zat berbahaya untuk membunuh hama berupa ulat daun (*Plutella xylostella*) yang sering ditemukan di sayuran berdaun seperti kubis/kol. Kemungkinan hal ini yang menyebabkan kandungan logam berat seperti timbal pada sayuran kubis/kol cukup tinggi karena merupakan sayuran berdaun. Sehingga, penggunaan zat berbahaya berlebih ini akan mengontaminasi kubis/kol yang berbahaya jika dikonsumsi (Anindityo et al., 2021).

2.2 Tinjauan Umum tentang Logam Berat

Logam adalah unsur kimia yang siap membentuk ion (kation) dan memiliki ikatan logam. Logam merupakan salah satu dari tiga kelompok unsur yang dibedakan oleh sifat ionisasi dan ikatan, bersama dengan metaloid dan nonlogam. Logam berat merupakan logam yang mempunyai berat jenis (*specific gravity*) 5,0 atau lebih, dengan nomor atom antara 21 (scandium) dan 92 (uranium) dari Sistem Periodik Bahan Kimia. Menurut Vouk (1986) terdapat 80 jenis dari 109 unsur kimia di muka bumi ini yang telah teridentifikasi sebagai logam berat. Berdasarkan sudut pandang toksikologi, logam berat dapat

dibedakan menjadi logam berat esensial dan logam berat non esensial (Arif Setiawan et al., 2022).

2.2.1 Logam Berat Esensial

Dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme hidup, namun dalam jumlah yang berlebihan dapat menimbulkan efek racun, sebagai contoh antara lain Tembaga (Cu), Besi (Fe), Selenium (Se), dan Zink (Zn) (Arifiyana et al., 2023).

2.2.2 Logam Berat Non Esensial

Merupakan logam yang beracun (toxic metal) yang keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya, sebagai contoh antara lain Merkuri (Hg), Arsenik (As), Timbal (Pb), dan Kadmium (Cd) (Arifiyana et al., 2023).

2.3 Tinjauan Umum tentang Logam Berat Timbal

Timbal memiliki simbol Pb yang diambil dari kata bahasa latin plumbum dan memiliki nomor atom 82 yang dalam sistem periodik unsur terletak pada unsur golongan IV A dan periode ke 6. Dalam bahasa inggris timbal dikenal dengan istilah *lead*. Timbal atau yang juga dikenal sebagai timah hitam adalah salah satu logam berat yang berbahaya bagi kesehatan manusia yang ditemukan di kerak bumi atau berasal dari aktivitas manusia. Timbal berakumulasi dalam tubuh manusia dan dapat membahayakan tubuh bahkan dalam dosis rendah (Putri Mayaserli et al., 2023).

Timbal biasanya dimanfaatkan sebagai bahan dalam industri kendaraan bermotor, bahan bakar, cat bangunan, baterai, dan peralatan elektronik. Penggunaan timbal paling banyak ditemukan pada industri baterai dan kendaraan bermotor. Timbal tidak terdegradasi di lingkungan, meskipun dapat berada dalam berbagai bentuk kimia. Partikel-partikel yang terkontaminasi dengan timbal dapat terangkut melalui udara, air, dan tanah (ATSDR, 2019).

Sumber logam berat timbal juga berasal dari pestisida dan pupuk anorganik. Kandungan timbal di dalam pestisida dan pupuk diduga pada bahan tersebut sendiri telah mengandung logam timbal, karena bahan baku pestisida berasal dari pengeboran minyak bumi (Rasman & Hasmayani, 2018). Penggunaan pestisida yang tidak sesuai dengan petunjuk penggunaan atau overdosis juga menyebabkan peningkatan kadar timbal dalam air. Selain itu, penggunaan pupuk fosfat yang mengandung timbal juga berkontribusi terhadap tingginya kadar timbal dalam air sumur pertanian, karena timbal dalam pupuk fosfat dapat terlarut dalam air dan mencemari sumber air (Sudarmanto et al., 2023).

Timbal masuk ke dalam tubuh manusia melalui beberapa jalur yaitu melalui makanan, minuman, udara lewat paru-paru, dan penetrasi pada selaput atau lapisan kulit. Ketika masuk ke saluran pencernaan timbal akan diabsorpsi dan berikatan dengan sel darah merah dan sebagian kecil akan ditemukan bebas di plasma darah. Keberadaan timbal dalam darah dapat menyebabkan timbal beredar bebas hingga ke tulang dan jaringan lunak seperti ginjal, otak,

liver dan sum-sum tulang belakang bahkan bisa masuk ke janin melalui plasenta (ATSDR, 2019).

Timbal memiliki tingkat toksisitas yang sangat tinggi terhadap organ tubuh manusia, terutama sistem syaraf, ginjal, jantung bahkan sistem reproduksi. Selain itu, timbal menyebabkan tekanan darah tinggi dan anemia. Kadar timbal yang tinggi dalam darah dapat menyebabkan sindrom saluran cerna, anemia, gagal ginjal, hipertensi, kerusakan neuromuskular, dan kerusakan patofisiologis serta kerusakan sistem saraf pusat, sehingga terjadi perubahan perilaku (Ardillah, 2016). Menurut International Agency for Research on Cancer (IARC) dalam Sugiharto et al (2020) telah mengklasifikasikan timbal bersifat karsinogenik bagi manusia.

2.4 Tinjauan Umum tentang Logam Berat Tembaga

Tembaga adalah elemen kimia yang dalam tabel periodik memiliki simbol Cu dan nomor atom 29. Tembaga adalah konduktor panas dan listrik yang kup baik, tetapi memiliki laju korosi yang cepat. Bahan ini memiliki sifat halus dan lembut serta permukaan oranye kemerahan yang ketika dicampur dengan timah akan menghasilkan bahan perunggu. Dalam aplikasinya, penggunaan tembaga terdiri dari 60% kabel listrik, 20% atap dan pipa, dan 15% mesin industri serta sebagian kecil digunakan sebagai suplemen dan fungisida dalam pertanian (Talango et al., 2023).

Logam berat tembaga tergolong logam berat esensial yang dibutuhkan tubuh dalam berbagai proses metabolisme seperti pembentukan zat besi yang berguna untuk meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan pada anak, perkembangan fungsi otak, meningkatkan kekuatan tulang, dan fungsi imun (Taylor et al., 2022). Selain menjadi logam yang dibutuhkan, akan tetapi jika kadar tembaga tinggi akan memberikan dampak negatif terhadap lingkungan biotik maupun abiotik. Hal ini karena tembaga termasuk dalam golongan logam berat. Logam berat merupakan unsur yang stabil dan tidak mudah rusak. Tembaga yang masuk ke tanah akan cenderung terakumulasi dan kandungannya akan meningkat secara terus menerus (Khairuddin et al., 2021).

Tembaga juga menjadi mikronutrien penting bagi tanaman karena merupakan komponen dari beberapa enzim yang berperan dalam transport elektron dan katalisis reaksi redoks di mitokondria dan kloroplas. Namun, pada tingkat toksik, tembaga menghasilkan stres oksidatif yang merusak struktur seluler dan molekul, seperti DNA, protein, dan lipid. Gejala akibat stres oksidatif yang dapat dilihat seperti gangguan pertumbuhan akar dan tunas, keterlambatan pertumbuhan, daun kering, dan bahkan kematian tanaman (José Rodrigues Cruz, 2022).

Pada manusia metabolisme atau jalur paparan tembaga yaitu dimulai saat tembaga diserap melalui beberapa jalur seperti kulit, saluran pencernaan, paru-paru, dan selaput lendir. Kemudian tembaga diangkut dalam darah dengan seruloplasmin 95% dan albumin. Organ dengan kandungan tembaga tertinggi yaitu hati, otak, jantung, dan ginjal. Namun, kelebihan tembaga bisa terakumulasi di hampir setiap organ tubuh. Tempat utama metabolisme adalah

hati. Selanjutnya, tembaga diekskresikan melalui empedu dan jejaknya ditemukan dalam air liur dan air susu dan juga dikeluarkan dari tubuh melalui tinja serta sebagian kecil tembaga juga diekskresikan melalui urin (Anant et al., 2018).

Tembaga sebetulnya diperlukan bagi perkembangan tubuh manusia. Tetapi, dalam dosis tinggi dapat menyebabkan gejala gastrointestinal, sistem saraf pusat, ginjal, hati, muntaber, pusing kepala, lemah, anemia, kramp, konvulsi, shock, koma dan dapat meninggal (Dewi & Hadisoebroto, 2021). Berikut adalah beberapa efek tembaga pada manusia:

1. Gangguan Pencernaan: Paparan tembaga yang berlebihan dapat menyebabkan gangguan pada sistem pencernaan, seperti mual, muntah, diare, dan sakit perut. Tembaga juga dapat merusak selaput lendir usus dan mengganggu penyerapan nutrisi.
2. Gangguan Neurologis: Paparan tembaga yang berlebihan dapat menyebabkan gangguan pada sistem saraf, termasuk gangguan kognitif, gangguan perilaku, tremor, dan gangguan motorik.
3. Gangguan pada Sistem Reproduksi: Paparan tembaga yang berlebihan dapat mengganggu fungsi reproduksi, baik pada pria maupun wanita. Pada pria, dapat mengurangi jumlah sperma dan kualitas sperma. Pada wanita, dapat menyebabkan gangguan menstruasi dan masalah kesuburan.

2.5 Tinjauan Umum tentang Analisis Logam Berat dalam Kubis/kol

Analisis timbal dalam kubis/kol diawali dengan tahapan preparasi sampel kemudian dilanjutkan dengan metode destruksi sampel, setelah itu menggunakan metode Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) untuk menetapkan kadar timbal dalam kubis/kol. Terdapat beberapa metode atau alat yang digunakan untuk dapat mengukur kadar timbal dalam kubis/kol seperti metode *Atomic Fluorescence Spectroscopy* (AFS), metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA), *metode Inductively Couple Mass Spectrometry* (ICP-MS).

1. Preparasi Sampel

Preparasi sampel merupakan salah satu tahapan awal dalam menganalisis kandungan timbal pada kubis/kol dan merupakan langkah yang sangat penting dalam menentukan kandungan timbal pada kubis/kol. Preparasi sampel dilakukan dengan mencuci semua sampel kubis/kol dengan akuades, ditiriskan dan selanjutnya dihaluskan hingga homogen untuk proses selanjutnya. Sebelum dioven, semua sampel kubis/kol terlebih dahulu dicitrasi bersih. Setelah dicitrasi kemudian sampel kubis/kol dipotong-potong menjadi lebih kecil menggunakan pisau dan gunting. Selanjutnya sampel yang sudah berbentuk kecil-kecil tersebut di oven dengan suhu 110°C selama 5 jam (Ulfa Nofiani et al., 2022).

2. Destruksi Sampel

Sebelum di destruksi semua sampel yang sudah di oven lalu digerus sampai halus. Proses destruksi menggunakan sistem *refluks* yaitu dengan memasukkan sampel ke dalam labu destruksi yang dilengkapi dengan kondensor yang dialiri air, sampel di destruksi menggunakan larutan

pendestruksi, dengan konsentrasi sampel 1gr dan larutan HNO_3 (asam nitrat) sebagai pelarut sampel. Kondensor disambungkan kemudian dialiri air mengalir yang berfungsi sebagai pendingin, sehingga uap keluar dari tabung dan akan mengembun kembali ke dalam tabung. Proses pendestruksian dilakukan selama 5 jam, kemudian didinginkan dan disaring menggunakan kertas saring. Larutan sampel siap untuk penentuan kandungan logam timbal menggunakan alat SSA (Ulfa Nofiani et al., 2022).

3. Pengukuran Konsentrasi Logam Berat dengan SSA

Penentuan konsentrasi logam timbal menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (AAS). Spektrofotometer Serapan Atom digunakan untuk menganalisis konsentrasi analit dalam sampel. Elektron pada atom akan tereksitasi pada orbital yang lebih tinggi dalam waktu singkat dengan menyerap energi (radiasi pada panjang gelombang tertentu). Adapun contoh Spektrofotometer Serapan Atom yang biasanya digunakan adalah Spektrofotometer Serapan Atom Thermo iCE 3000 metode *flame*. Logam-logam yang sering dianalisa pada alat ini adalah: tembaga, kromium, kadmium, besi, zink, nikel, tembaga, dan kobalt. Pengukuran hasil konsentrasi sampel selanjutnya ditentukan dengan bantuan kurva kalibrasi larutan standar (Sugito & Marliyana, 2021).

3.1 Tinjauan Umum tentang Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan

Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) atau *Environmental Health Risk Assessment* (EHRA) masih belum banyak dikenal dan digunakan sebagai metode kajian dampak lingkungan terhadap kesehatan di Indonesia. Saat ini, analisis risiko digunakan untuk berbagai bahaya lingkungan, termasuk bahaya fisik dan biologis. Bahaya-bahaya fisik, biologis, dan kimiawi lingkungan bisa menimbulkan efek merugikan kesehatan manusia dan kerusakan lingkungan (Mallongi, 2021).

World Health Organization (2004) mendefinisikan analisis risiko sebagai proses yang bertujuan untuk menghitung dan memprakirakan risiko pada suatu organisme sasaran, sistem atau (sub) populasi, termasuk identifikasi ketidakpastian-ketidakpastian yang menyertainya, setelah terpajan oleh agen tertentu, dengan memperhatikan karakteristik yang melekat pada penyebab (*agent*) yang menjadi perhatian dan karakteristik sistem sasaran spesifik. Risiko di definisikan sebagai kebolehjadian (probabilitas) suatu efek merugikan pada suatu organisme, sistem atau (sub) populasi yang disebabkan oleh pemajanan suatu *agent* dalam keadaan tertentu (Mallongi, 2021).

Menurut Dewan Riset Nasional (NRC) pada tahun 1983 Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) terdiri dari empat langkah yaitu identifikasi bahaya, analisis dosis respon, analisis pemajanan, dan karakterisasi risiko, namun terdapat tindak lanjut pelaksanaan langkah-langkah ARKL berupa manajemen dan komunikasi risiko. Adapun langkah-langkah ARKL tersebut dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Identifikasi Bahaya

Identifikasi bahaya merupakan langkah pertama dalam ARKL yang digunakan untuk menentukan apakah suatu bahan kimia tertentu mempunyai hubungan sebab akibat dengan efek kesehatan tertentu atau tidak. Tahapan ini harus menjawab pertanyaan agen risiko spesifik apa yang berbahaya, di media lingkungan yang mana agen risiko sering ditemukan, seberapa besar kandungan/konsentrasi agen risiko di media lingkungan serta gejala kesehatan apa yang potensial.

2. Analisis Dosis Respon

Analisis dosis respon yaitu penentuan hubungan antara besarnya paparan dan kemungkinana terjadinya dampak kesehatan yang dimaksud. Penentuan ini dapat dilakukan dengan mencari nilai RfD, RfC atau SF dari agen risiko yang menjadi fokus ARKL, serta memahami efek yang mungkin ditimbulkan oleh agen risiko tersebut pada tubuh manusia. Analisis dosis respon ini tidak harus dengan melakukan penelitian percobaan sendiri namun kup dengan merujuk pada literatur yang tersedia. Langkah analisis dosis respon ini dimaksudkan untuk:

- a. Mengetahui jalur pajanan (*pathways*) dari 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 (RfD) atau konsentrasi referensi (RfC) atau *Slope Factor* (SF) dari agen risiko tersebut. RfD dan RfC adalah nilai yang dijadikan referensi untuk nilai yang aman pada efek non karsinogenik suatu agen risiko, sedangkan SF adalah referensi untuk nilai yang aman pada efek karsinogenik.

Nilai RfD, RfC, dan SF merupakan hasil penelitian dari berbagai sumber baik yang dilakukan langsung pada objek manusia maupun merupakan ekstrapolasi dari hewan percobaan ke manusia. Satuan dosis referensi (RfD) dinyatakan sebagai miligram (mg) zat per kilogram (kg) berat badan per hari, disingkat mg/kg/hari. Satuan konsentrasi referensi (RfC) dinyatakan sebagai miligram (mg) zat per meter kubik (m^3) udara, disingkat mg/ m^3 . Konsentrasi referensi ini dinormalisasikan menjadi satuan mg/kg/hari dengan cara memasukkan laju inhalasi dan berat badan yang bersangkutan.

3. Analisis Pemajanan

Analisis pemajanan yaitu mengukur atau menghitung intake atau asupan dari suatu agen risiko. Untuk menghitung intake digunakan persamaan atau rumus yang berbeda. Data yang digunakan untuk melakukan perhitungan dapat berupa data primer (hasil pengukuran konsentrasi agen risiko pada media lingkungan yang dilakukan sendiri) atau data sekunder (pengukuran konsentrasi agen risiko pada media lingkungan yang dilakukan oleh pihak lain yang dipercaya seperti BLH, Dinas

Kesehatan, LSM, dll), dan asumsi yang didasarkan pertimbangan yang logis atau menggunakan nilai default yang tersedia.

Berikut ini perhitungan tingkat pajanan (*intake*) melalui yaitu, 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*), jumlah agen risiko yang diterima individu per berat badan per hari (mg/kg/hari)
- C : konsentrasi agen risiko (mg/kg)
- R : laju asupan (*rate*) (gr/hari)
- t_E : waktu pajanan (jam/hari)
- f_E : frekuensi pajanan tahunan (hari/tahun)
- D_t : durasi pajanan (tahun)
- W_b : berat badan (kg)
- t_{avg} : periode waktu rata-rata (30 tahun \times 365 hari/tahun) untuk efek non karsinogenik dan (70 tahun \times 365 hari/tahun) untuk efek karsinogenik.

Waktu pajanan (t_E) harus diperoleh dengan cara menanyakan berapa lama kebiasaan responden sehari-hari berada diluar rumah. Frekuensi pajanan (f_E) kebiasaan yang dilakukan setiap tahun, meninggalkan tempat bermukim seperti pulang kampung dan rekreasi. Durasi pajanan (D_t) adalah mengetahui waktu sesungguhnya responden berada di tempat bermukim sampai kegiatan survei dilakukan. Bobot waktu rata-rata (t_{avg}) berbeda untuk asupan karsinogenik dan non-karsinogenik.

4. Karakteristik Risiko

Langkah ARKL yang terakhir adalah karakteristik risiko yang dilakukan untuk menetapkan tingkat risiko atau dengan kata lain menentukan apakah agen risiko pada konsentrasi tertentu yang dianalisis pada ARKL berisiko menimbulkan gangguan kesehatan pada masyarakat (dengan karakteristik seperti berat badan, laju inhalasi/konsumsi, waktu, frekuensi, durasi pajanan yang tertentu) 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* (yang didapatkan dari analisis pemajanan) dan konsentrasi referensi (RfC).

Karakteristik risiko dinyatakan sebagai *Risk Quotient* (RQ) untuk efek-efek non karsinogenik dan *Excess Cancer Risk* (ECR) untuk efek-efek karsinogenik. Risiko kesehatan dinyatakan ada dan perlu dikendalikan jika $RQ > 1$, sedangkan jika $RQ \leq 1$ risiko tidak perlu dikendalikan tetapi perlu dipertahankan agar nilai numerik RQ tidak lebih dari satu. RQ dihitung dengan membagi asupan non karsinogenik (Ink) agen risiko dengan RfD atau RfC.

Karakteristik risiko kesehatan dapat disebut juga dengan *Risk Quotient* (RQ) atau tingkat risiko untuk efek non karsinogenik. Berikut ini rumus untuk RQ, sebagai berikut (ATSDR, 2005):

$$RQ = \frac{I}{RfD}$$

Keterangan:

RQ : *Risk Quotient*

I : Intake non karsinogenik

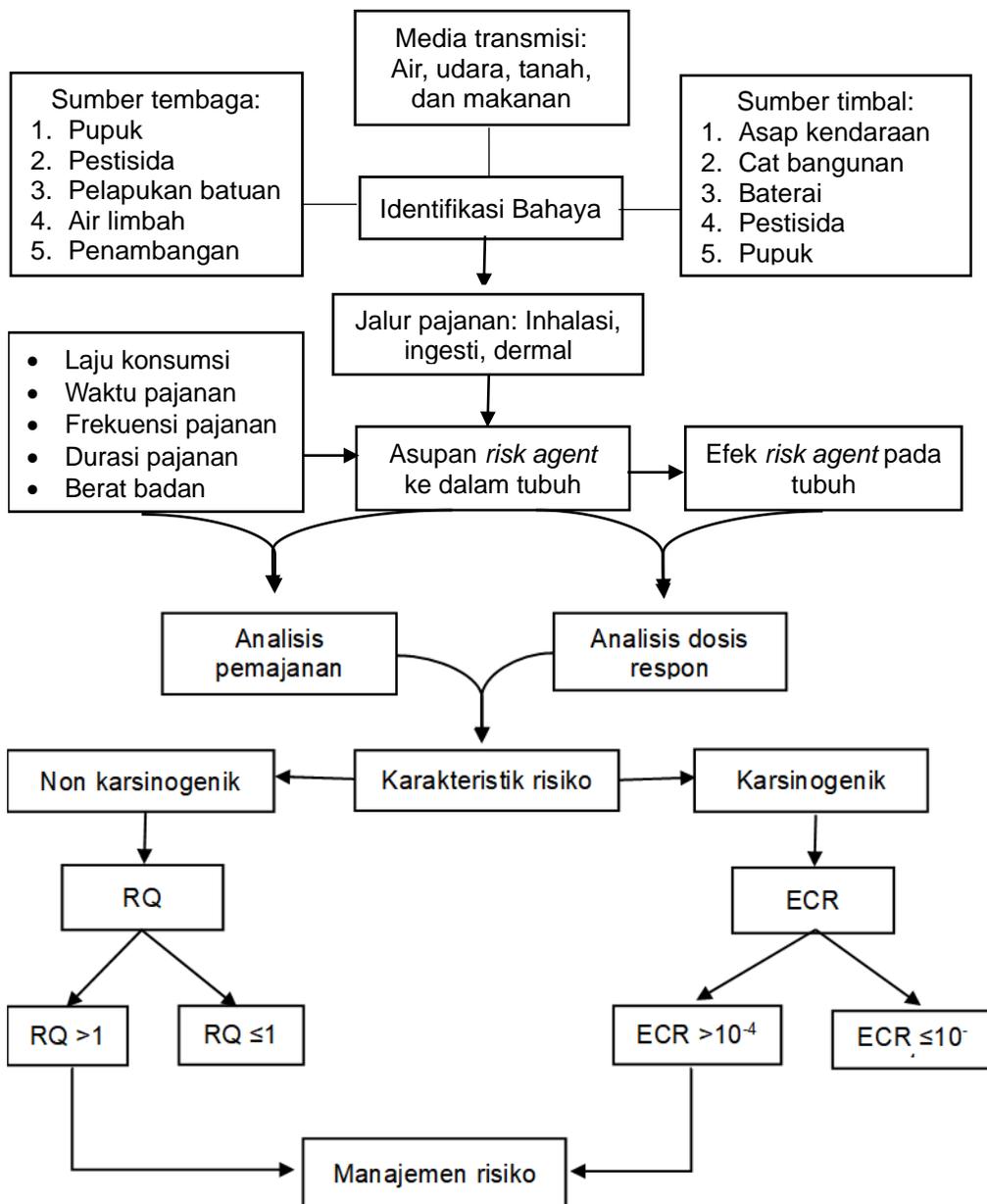
RfC : *Reference Concentration*

5. Manajemen Risiko

Setelah melakukan keempat langkah ARKL, maka telah dapat diketahui apakah suatu agen risiko aman atau dapat diterima atau tidak. Manajemen risiko bukan termasuk langkah ARKL melainkan tindak lanjut yang harus dilakukan apabila hasil dari karakterisasi risiko menunjukkan tingkat risiko yang tidak aman ataupun *unacceptable*.

Pengelolaan risiko perlu dibedakan antara strategi pengelolaan risiko dengan cara pengelolaan risiko. Strategi pengelolaan risiko meliputi penentuan batas aman yaitu konsentrasi agen risiko (C), jumlah konsumsi (R), waktu pajanan (t_E), frekuensi pajanan (f_E), durasi pajanan (Dt). Adapun cara pengelolaan risiko adalah cara atau metode yang akan digunakan untuk mencapai batas aman tersebut. Cara pengelolaan risiko meliputi beberapa pendekatan yaitu pendekatan teknologi, pendekatan sosial - ekonomis, dan pendekatan institusional.

3.2 Kerangka Konsep



Gambar 1. Kerangka Teori Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) yang telah Dimodifikasi dari Norgaard et al., (2013) dalam Dirjen P2PL (2012)

3.3 Sintesa Penelitian

Tabel 1. Tabel Sintesa Penelitian

No	Peneliti (Tahun) dan Sumber Jurnal	Judul dan Nama Jurnal	Desain Penelitian dan Metode Analisis	Sampel	Temuan
1	Górska-Warsewicz et al (2021) https://doi.org/10.3390/ijerph18063217	<i>“Vegetables, Potatoes and Their Products as Sources of Energy and Nutrients to the Average Diet in Poland”</i> <i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i>	Penelitian deskriptif dengan menggeneralisasi kesimpulan ke seluruh populasi menggunakan pernyataan 'diet rata-rata'.	Sampel lingkungan: 14 sub kelompok yang termasuk kedalam sayuran, kentang, dan produk kentang. Sampel individu: 99.230 individu	Penelitian menunjukkan peran penting dari kategori makanan yang dianalisis, yaitu, sayuran, kentang, dan produknya dalam menyediakan banyak mikronutrien berharga. Kentang, yang dikonsumsinya di Polandia, ternyata menjadi sumber penting kalium (15%), vitamin B6 (14%), vitamin C (13%), serat, magnesium dan niasin (masing-masing 8%), folat (6%), fosfor dan besi (masing-masing 5%).
2	Anindityo et al (2021) https://doi.org/10.33633/visikes.v20i1.4274	Risiko kesehatan Pb dan Hg pada sayuran di desa Kopeng Kabupaten Semarang	Desain penelitian deskriptif kuantitatif dengan pendekatan <i>cross sectional</i> melalui uji laboratorium	Sayuran kubis/kol sebanyak 15	Hasil penelitian menunjukkan rata-rata kandungan timbal adalah 0,069 mg/kg dan Hg <0,002 mg/kg. Kandungan logam berat

No	Peneliti (Tahun) dan Sumber Jurnal	Judul dan Nama Jurnal	Desain Penelitian dan Metode Analisis	Sampel	Temuan
		VISIKES: Jurnal Kesehatan Masyarakat			ini masih di bawah nilai ambang batas untuk sayuran, yaitu 0,5 mg/kg untuk timbal dan 0,03 mg/kg untuk merkuri. Hasil EDI di bawah asupan logam harian yang dapat ditoleransi sebesar 0,0035 mg/kg/hari untuk dan 0,003 mg/kg/hari untuk Hg. Perhitungan risiko kesehatan non karsinogenik dan karsinogenik menunjukkan bahwa sayuran dari Desa Kopeng tidak menimbulkan risiko kesehatan pada manusia
3	Mayaserli, D et al (2023) https://doi.org/10.25299/jrec.2023.vol5(2).14919	Hubungan Kadar Timbal Di Dalam Darah Dengan Morfologi Sel Eritrosit Pada Perokok Aktif Di Lubuk Buaya Kota Padang	Penelitian deskriptif yang menga pada penelitian eksperimen	Sampel perokok aktif sebanyak 20	Hasil penelitian menunjukkan bahwa ada hubungan antara kadar. Timbal dan morfologi sel eritrosit. Dari 20 sampel yang diuji, 20 sampel

No	Peneliti (Tahun) dan Sumber Jurnal	Judul dan Nama Jurnal	Desain Penelitian dan Metode Analisis	Sampel	Temuan
		<i>Journal of Research and Education Chemistry</i> (JREC)			sepenuhnya memiliki kadar Timbal di bawah ambang batas normal.
4	Sudarmanto et al (2023)	Analisis Kadar Timbal Pada Air Sumur Petani Di Desa Sumber Sari Kecamatan Loa Kulu Jurnal Kesehatan Tambusai	Desain penelitian deskriptif dan menggunakan uji laboratorium yang kemudian di analisis menggunakan data univariat	Air sumur sebanyak 10 dan 30 responden	Hasil pengukuran 10 air sumur di Desa Sumber Sari memiliki nilai yang bervariasi dengan rentang antara 0,0074 mg/L hingga 0,0866 mg/L. Batas maksimum kadar timbal dalam air bersih sebesar 0,05 mg/L. Ditemukan 70% dari air sumur memenuhi standar baku mutu tersebut, sementara 30% tidak memenuhi standar.
5	Khairuddin, dkk (2021) doi.10.29303/jpm.v16i1.2257	Analisis Kandungan Logam Berat Tembaga pada Bandeng (Chanos Chanos Forsk) Yang Berasal Dari Kampung Melayu Kota Bima J. Pijar MIPA	Desain penelitian menggunakan metode analisis dengan melakukan uji laboratorium	Ikan bandeng sebanyak 3 ekor	Hasil penelitian menemukan 27.3 % Tembaga dalam jaringan Bandeng, yang menunjukkan bahwa lingkungan tempat ikan dipelihara sudah terkontaminasi oleh Tembaga. Apabila manusia

No	Peneliti (Tahun) dan Sumber Jurnal	Judul dan Nama Jurnal	Desain Penelitian dan Metode Analisis	Sampel	Temuan
					<p>mengonsumsi ikan bandeng yang mengandung Tembaga, maka tembaga tersebut dapat terakumulasi dalam tubuh, sehingga dapat memberikan dampak negatif bagi kesehatan.</p>

3.4 Kerangka Konsep

2.9.1 Dasar Pemikiran Variabel yang Diteliti

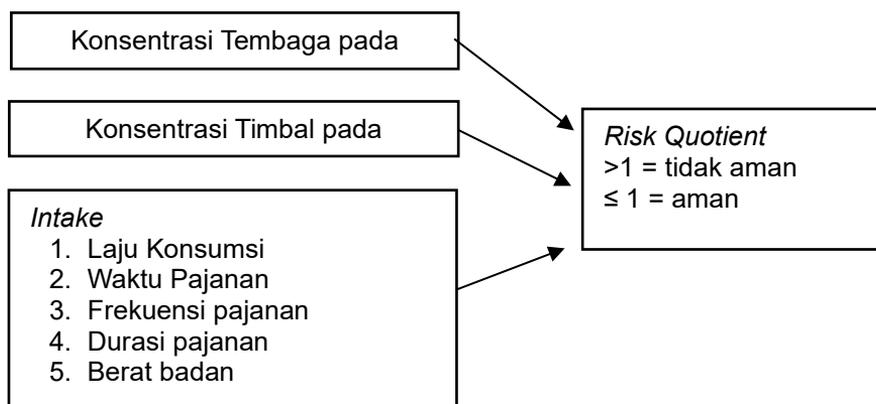
Berbagai dampak yang timbul akibat konsumsi makanan yang tidak sengaja terpapar pajanan logam berat sehingga berdampak terhadap kesehatan, sehingga perlu antisipasi atau pencegahan terhadap dampak tersebut. Metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) menjadi cara yang tepat untuk mengidentifikasi terkait pajanan logam berat. Selain itu, kontaminasi logam berat pada sayuran seperti kubis/kol yang ditanam di area pertanian yang telah lama terpapar logam berat akibat penggunaan bahan kimia untuk membasmi hama maupun memperbaiki unsur hara yang tidak teratur terutama ketika terjadi musim hujan dikhawatirkan akan mencemari kubis/kol dan lingkungan sekitarnya.

Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada besarnya risiko kesehatan lingkungan disebabkan oleh adanya pajanan logam berat timbal dan tembaga melalui konsumsi kubis/kol pada masyarakat Desa Patongloan, Kecamatan Baroko, dan Kabupaten Enrekang. Penggunaan metode ARKL dilakukan melalui empat tahap yaitu identifikasi bahaya, analisis pemajanan, dan penilaian besar risiko. Penilaian besar risiko yaitu dengan mengetahui besar risiko kesehatan lingkungan yang disebabkan oleh adanya pajanan timbal dan tembaga melalui konsumsi kubis/kol pada masyarakat.

Desa Patongloan adalah salah satu wilayah yang setengah wilayahnya adalah wilayah pertanian dan perkebunan yang dikhawatirkan akan menjadi sumber pencemaran lingkungan biotik dan abiotik sekitarnya. Terlebih masyarakat Desa Patongloan memanfaatkan hasil pertaniannya selain untuk diperdagangkan juga menjadi kebutuhan konsumsi sehari-hari.

2.9.2 Kerangka Konsep

Berikut ini kerangka konsep penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Kerangka Konsep

Keterangan:



: variable yang diteliti



: arah variable yang akan diteliti

2.9.3 Definisi Operasional dan Kriteria Objektif

Tabel 2. Definisi Operasional dan Kriteria Objektif

Variabel	Definisi Operasional	Alat Ukur	Kriteria Objektif	Skala Pengukuran
Konsentrasi timbal pada kubis/kol	Banyaknya kandungan timbal pada kubis/kol di Desa Patongloan Kecamatan Baroko.	Uji laboratorium	-	Rasio
Konsentrasi tembaga pada kubis/kol	Banyaknya kandungan tembaga pada kubis/kol di Desa Patongloan Kecamatan Baroko	Uji laboratorium	-	Rasio
<i>Intake (I)</i>	<i>Intake</i> adalah jumlah konsentrasi timbal dan tembaga yang masuk ke dalam tubuh responden dengan berat badan tertentu setiap harinya (mg/kg/hari)	Perhitungan Rumus: $I = \frac{C \times R \times f_E \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$	-	Rasio
<i>Dose-Response (RfD)</i>	Nilai dosis referensi atau dosis respon adalah nilai yang dijadikan referensi untuk nilai aman pada efek non karsinogenik suatu agen	Nilai berdasarkan data dari IRIS US-EPA (RfD timbal 0,0035 mg/kg/hari dan tembaga 0,04 mg/kg/hari)	-	Rasio

Variabel	Definisi Operasional	Alat Ukur	Kriteria Objektif	Skala Pengukuran
	risiko (mg/kg/hari)			
Laju Asupan (R)	Laju asupan adalah banyaknya asupan/konsumsi kubis/kol yang teringesti oleh tubuh dalam waktu satu hari atau selama 24 jam (mg/hari)	Wawancara	-	Rasio
Durasi Paparan (D _t)	Lamanya waktu responden menerima paparan per tahun (tahun)	Wawancara	-	Rasio
Frekuensi Paparan (f _E)	Waktu paparan timbal dan tembaga yang diterima oleh responden pada setiap tahunnya (hari/tahun)	Wawancara	-	Rasio
Berat Badan (W _b)	Berat badan responden (kg) pada saat dilakukannya penelitian.	Observasi (penimbangan badan menggunakan timbangan digital)		Rasio
Periode Waktu Rata-rata (t _{avg})	Periode rata-rata hari waktu efek non karsinogenik menggunakan nilai default.	Nilai untuk <i>intake Realtime</i> periode waktu rata-rata (D _t × 365 hari/tahun)	-	rasio
<i>Risk Quotient</i> (RQ)	RQ adalah nilai perkiraan besarnya kemungkinan risiko harian akibat paparan timbal dan tembaga pada kubis/kol	Perhitungan Rumus: $RQ = \frac{I}{RfD}$	RQ ≤ 1: aman RQ > 1: tidak aman	Rasio

Variabel	Definisi Operasional	Alat Ukur	Kriteria Objektif	Skala Pengukuran
Manajemen risiko	Bentuk tindak lanjut yang harus dilakukan ketika agen risiko menunjukkan tingkat risiko yang melebihi batas aman atau tidak dapat diterima. Jika $RQ > 1$ maka dikategorikan tidak aman	Perhitungan rumus konsentrasi aman: $C = \frac{RfD \times W_b \times t_{avg}}{R \times f_E \times D_t}$ $R = \frac{RfD \times W_b \times t_{avg}}{C \times f_E \times D_t}$	-	Rasio