

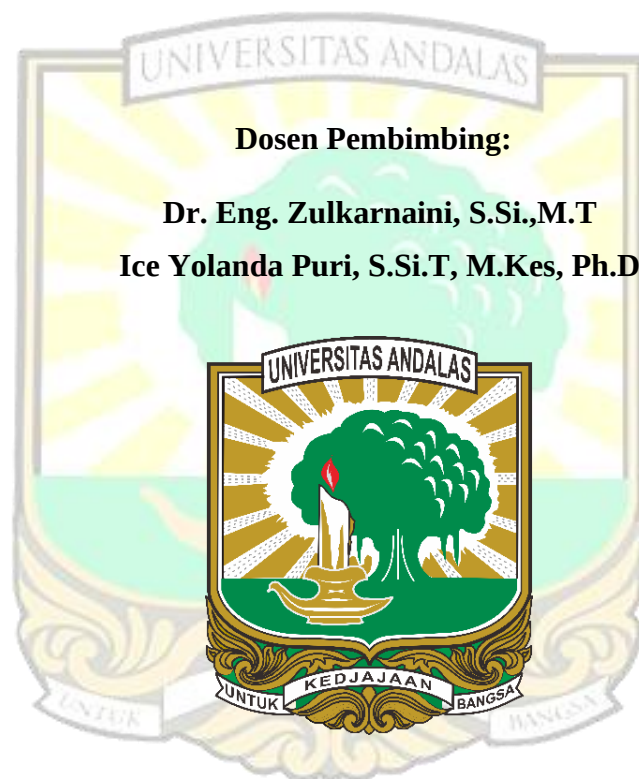
ANALISIS POLA KONSUMSI IKAN MASAI (*Mystacoleucus marginatus*) MASYARAKAT KOTA SAWAHLUNTO DAN RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN PAJANAN TIMBAL (Pb) DAN ARSEN (As)

TUGAS AKHIR

Oleh:

M. FARRAS ZHAFRAN

2110947006



Dosen Pembimbing:

Dr. Eng. Zulkarnaini, S.Si.,M.T

Ice Yolanda Puri, S.Si.T, M.Kes, Ph.D

**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK LINGKUNGAN
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK - UNIVERSITAS ANDALAS
PADANG
2025**

ANALISIS POLA KONSUMSI IKAN MASAI (*Mystacoleucus marginatus*) MASYARAKAT KOTA SAWAHLUNTO DAN RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN PAJANAN TIMBAL (Pb) DAN ARSEN (As)

TUGAS AKHIR

Sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
Program Strata-1 pada
Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Universitas Andalas

Oleh:

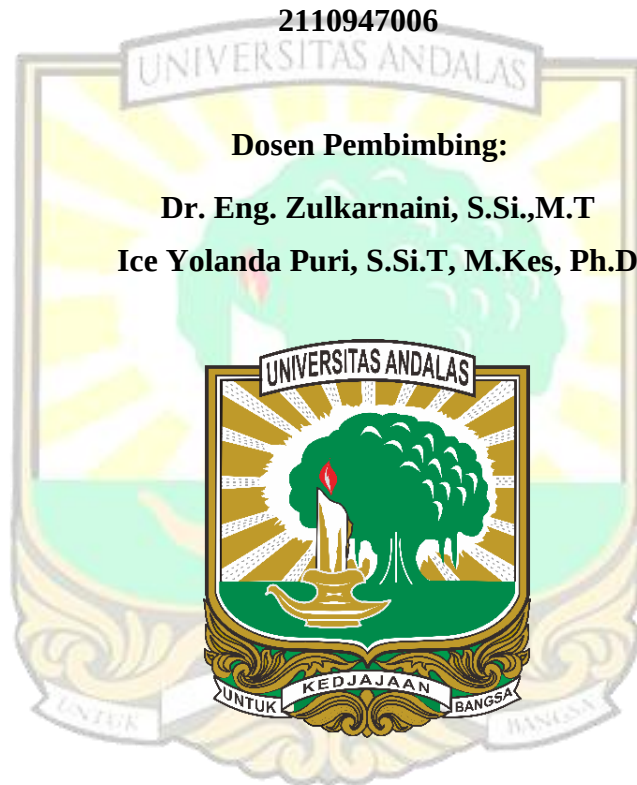
M. FARRAS ZHAFRAN

2110947006

Dosen Pembimbing:

Dr. Eng. Zulkarnaini, S.Si., M.T

Ice Yolanda Puri, S.Si.T, M.Kes, Ph.D



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK LINGKUNGAN
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK - UNIVERSITAS ANDALAS
PADANG
2025**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS POLA KONSUMSI IKAN MASAI (*Mystacoleucus marginatus*) MASYARAKAT KOTA SAWAHLUNTO DAN RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN PAJANAN TIMBAL (Pb) DAN ARSEN (As)

Nama : M. Farras Zhafran

NIM : 2110947006

Lulus Sidang Tugas Akhir tanggal: 21 Oktober 2025

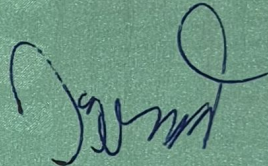
Disetujui oleh:

Pembimbing Utama,



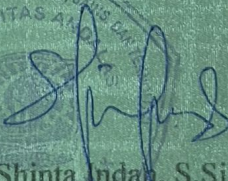
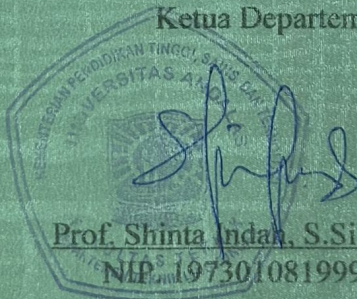
Dr. Eng. Zulkarnaini, S.Si., M.T.
NIP. 198004212009121003

Kopembimbing,



Ice Yolanda Puri, S.Si.T. M.Kes, Ph.D.
NIP. 197903262008122001

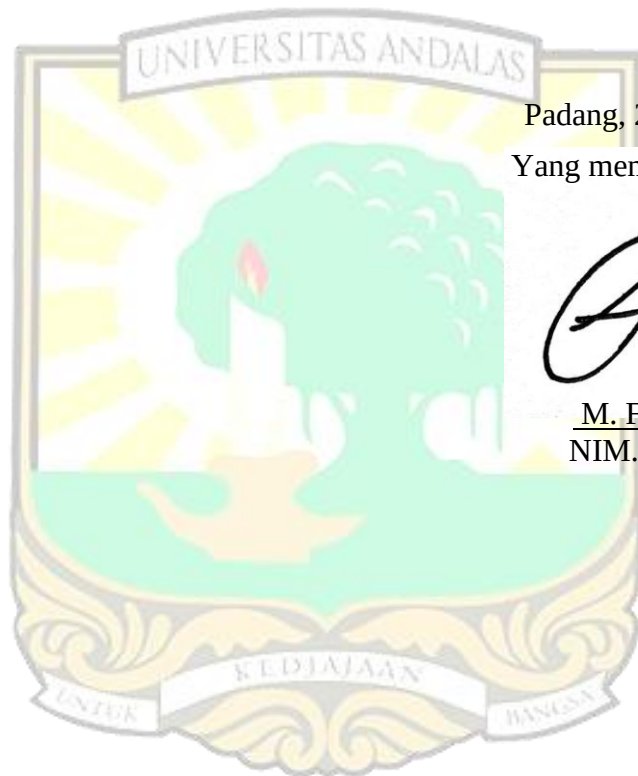
Disahkan oleh:
Ketua Departemen,

Prof. Shinta Indan, S.Si., M.T., Ph.D.
NIP. 197301081999032002

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir yang ditulis dengan judul: **Analisis Pola Konsumsi Ikan Masai (*Mystacoleucus Marginatus*) Masyarakat Kota Sawahlunto Dan Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Timbal (Pb) Dan Arsen (As)** adalah benar hasil kerja/karya saya sendiri dan bukan merupakan tiruan hasil kerja/karya orang lain, kecuali kutipan pustaka yang sumbernya dicantumkan. Jika kemudian hari pernyataan ini tidak benar, maka status kelulusan dan gelar yang saya peroleh menjadi batal dengan sendirinya



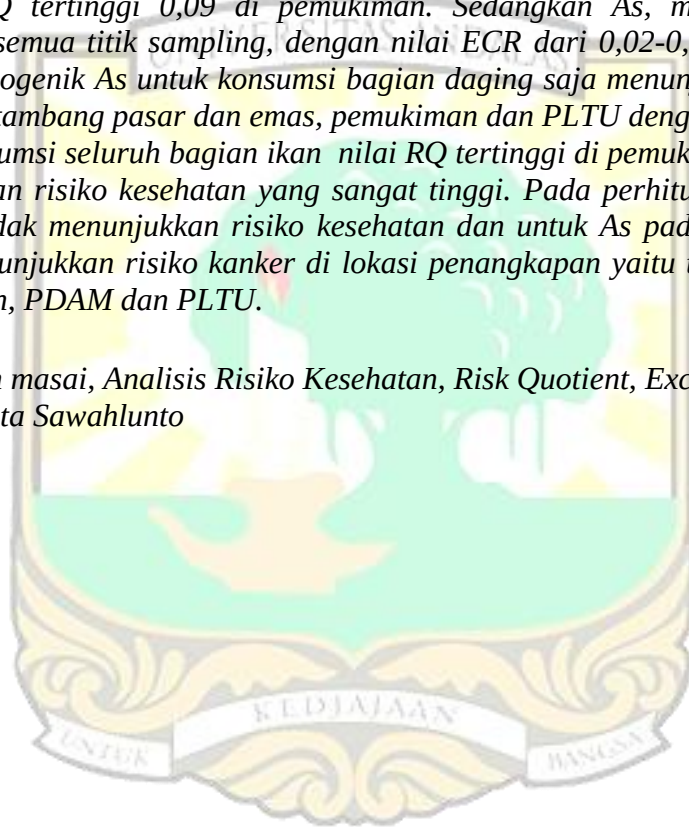
Padang, 21 Oktober 2025
Yang membuat pernyataan,

M. Farras Zhafran
NIM. 2110947006

ABSTRAK

Aktivitas penambangan pasir dan emas ilegal, areal bekas tambang, serta industri PLTU di sekitar Sungai Batang Ombilin berpotensi menghasilkan cemaran logam berat yang terakumulasi dalam tubuh ikan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola konsumsi masyarakat Kota Sawahlunto terhadap ikan masai (*Mystacoleucus marginatus*) dan analisis risiko kesehatan karsinogenik dan non karsinogenik akibat paparan logam berat timbal (Pb) dan arsenik (As). Metode penelitian menggunakan observasional dengan analisis kuesioner yang disebarakan kepada 100 responden di Nagari Talawi, Sawahlunto. Konsentrasi logam berat di air dan ikan masai diperoleh dari data sekunder yang mencakup lima titik sampling. Hasil penelitian menunjukkan 72% responden hanya mengonsumsi bagian daging saja dan 28% mengonsumsi seluruh bagian ikan. Perhitungan menggunakan nilai default menunjukkan konsentrasi Pb dalam ikan masai dengan nilai RQ tertinggi 0,09 di pemukiman. Sedangkan As, menunjukkan risiko kesehatan pada semua titik sampling, dengan nilai ECR dari 0,02-0,0345. Perhitungan risiko non-karsinogenik As untuk konsumsi bagian daging saja menunjukkan risiko pada tiga lokasi yaitu tambang pasar dan emas, pemukiman dan PLTU dengan RQ 1,085, 1,43, 1,08. Untuk konsumsi seluruh bagian ikan nilai RQ tertinggi di pemukiman sebesar 4,19, yang menunjukkan risiko kesehatan yang sangat tinggi. Pada perhitungan dengan data real untuk Pb tidak menunjukkan risiko kesehatan dan untuk As pada konsumsi semua bagian ikan menunjukkan risiko kanker di lokasi penangkapan yaitu tambang pasir dan emas, pemukiman, PDAM dan PLTU.

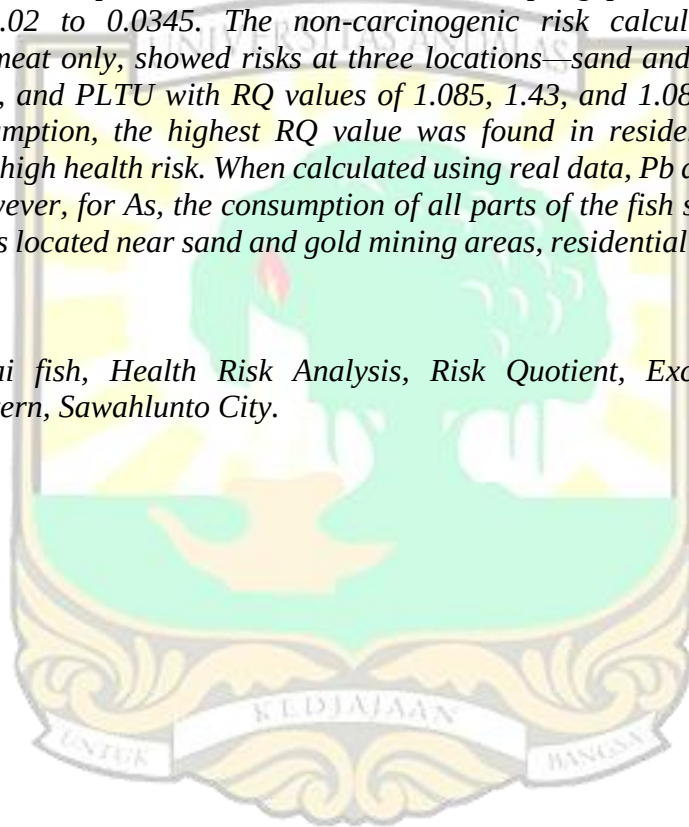
Kata Kunci: ikan masai, Analisis Risiko Kesehatan, Risk Quotient, Excess Cancer Risk, pola konsumsi, Kota Sawahlunto



ABSTRACT

*Illegal sand and gold mining activities, abandoned mining areas, and coal-fired power plants (PLTU) around the Batang Ombilin River have the potential to generate heavy metal contamination that accumulates in fish bodies. This study aims to analyze the consumption patterns of Sawahlunto residents toward masai fish (*Mystacoleucus marginatus*) and assess the carcinogenic and non-carcinogenic health risks due to exposure to heavy metals lead (Pb) and arsenic (As). The research employed an observational method using questionnaires distributed to 100 respondents in Nagari Talawi, Sawahlunto. Heavy metal concentrations in water and masai fish were obtained from secondary data covering five sampling points. The results showed that 72% of respondents consumed only the fish meat, while 28% consumed the entire fish. Calculations using default values indicated that the Pb concentration in masai fish had the highest RQ value of 0.09 in residential areas. Meanwhile, As showed potential health risks at all sampling points, with ECR values ranging from 0.02 to 0.0345. The non-carcinogenic risk calculation for As, for consumption of meat only, showed risks at three locations—sand and gold mining sites, residential areas, and PLTU with RQ values of 1.085, 1.43, and 1.08, respectively. For whole-fish consumption, the highest RQ value was found in residential areas (4.19), indicating a very high health risk. When calculated using real data, Pb did not indicate any health risks. However, for As, the consumption of all parts of the fish showed cancer risk at the fishing sites located near sand and gold mining areas, residential zones, PDAM, and PLTU.*

Keywords: masai fish, Health Risk Analysis, Risk Quotient, Excess Cancer Risk, consumption pattern, Sawahlunto City.



KATA PENGANTAR



Alhamdulillahahirabbil'aalamiin, segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Analisis Pola Konsumsi Ikan masai (*Mystacoleucus marginatus*) Masyarakat Kota Sawahlunto Dan Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Timbal (Pb) Dan Arsen (As).** Tidak lupa shalawat dan salam penulis sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita menuju alam yang penuh dengan ilmu pengetahuan seperti saat ini. Penulisan Tugas Akhir ini dimaksudkan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana pada Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Andalas. Penyelesaian Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan banyak pihak, baik langsung maupun tidak langsung.

1. Ayah Edwin dan Ibu Ade Erma S.Pd selaku orang tua penulis dan juga keluarga yang senantiasa sabar dan telah banyak memberikan dukungan moril maupun materi;
2. Bapak Dr. Eng. Zulkarnaini, S.Si.,M.T selaku dosen pembimbing I dan Ibu Ice Yolanda Puri, S.Si.T, M.Kes, Ph.D selaku dosen pembimbing II yang telah bersedia mengarahkan dan membimbing selama penelitian maupun dalam penyelesaian Tugas Akhir ini;
3. Bapak Taufiq Ihsan, S.T., M.T., Ph.D selaku penguji I dan Ibu Dr. Ir. Ansiha Nur. S.T., M.T selaku penguji II yang telah memberi masukan dan evaluasi yang membangun dalam penyusunan tugas akhir ini;
4. Ibu Prof. Shinta Indah, S.Si., M.T., Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Lingkungan Universitas Andalas;
5. Ibu Ir. Ansiha Nur, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Sarjana Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Andalas
6. Bapak Ridwan, M.T. sebagai dosen Penasehat Akademik (PA) yang telah membantu dan membimbing saya dalam menjalani setiap tahapan perkuliahan ini.
7. Audira Fitri Novadoriz yang senantiasa memberikan saran dan masukan dalam pengerjaan laporan serta memberi dukungan, yang senantiasa mendengarkan keluh kesah dan menyemangati penulis;

8. Kepada kawan seperjuangan Tugas Akhir penulis, Yulandra Helmi yang senantiasa menemani dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini;
9. Teman-teman penulis yaitu Alan, Saul, Lusi, Pretty, Layla, Dira, Farhan dan teman-teman lain yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah memberi bantuan dan dukungan dalam penelitian Tugas Akhir;
10. Dan yang paling penting, terima kasih kepada diri sendiri yang telah bertahan, belajar, dan terus melangkah maju meski dihadapkan berbagai tantangan.

Penulis berharap tulisan ini dapat bermanfaat dan penulis menerima segala bentuk kritik dan saran demi kesempurnaan laporan ini. Semoga Allah membalas kebaikan dengan yang lebih baik, Aamiin ya Robbal 'Aalamiin.



Padang, 16 Oktober 2025

Wassalam,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M. Farras Zhafran'.

M. Farras Zhafran

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR.....	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Manfaat Penelitian.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Sungai Batang Ombilin	6
2.2 Pencemaran Air	6
2.3 Pencemaran Sungai	7
2.4 Aktivitas Pertambangan Terhadap Lingkungan Perairan.....	8
2.5 Logam Berat	9
2.5.1 Timbal (Pb).....	10
2.5.2 Arsenik (As).....	10
2.6 Bioindikator.....	11
2.7 Ikan Masai (<i>Mystacoleucus marginatus</i>)	11
2.8 Pola Konsumsi Ikan oleh Masyarakat	12
2.9 Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan	13
2.10 <i>Risk Quotient (RQ)</i> dan <i>Target Hazard Quotient (THQ)</i>	16
2.11 <i>Excess Cancer Risk (ECR)</i> dan <i>Cancer Risk (CR)</i>	17

2.12 Penelitian Terdahulu.....	18
BAB III METODOLOGI	21
3.1 Tahapan Penelitian	21
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	21
3.3 Studi Literatur.....	22
3.4 Pengumpulan Data Sekunder	24
3.5 Survei Lapangan.....	26
3.6 Uji Validitas dan Reliabilitas.....	26
3.7 Penyebaran Kuesioner	27
3.8 Analisis Kuesioner	28
3.8.1 Karakteristik Responden.....	28
3.8.2 Analisis Pola Konsumsi Ikan masai.....	29
3.8.3 Analisis <i>Metal Pollution Index</i> (MPI)	29
3.8.5 Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL)	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1 Umum.....	32
4.2 Karakteristik Responden	33
4.2.1 Jenis Kelamin.....	33
4.2.2 Umur	34
4.2.3 Status Perkawinan.....	34
4.2.4 Berat Badan.....	35
4.2.5 Pendidikan	36
4.2.6 Pekerjaan.....	37
4.3 Kondisi Eksisting Di Lapangan.....	38
4.4 Analisis Pola Konsumsi Ikan masai	39
4.5 Analisis <i>Metal Pollution Index</i> (MPI)	40

4.6 Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL)	41
4.6.1 Identifikasi Bahaya (<i>Hazard-Identification</i>)	41
4.6.2 Analisis Dosis Respon (<i>Dose-Respon Assessment</i>)	42
4.6.3 Analisis <i>Pajanan</i> (<i>Exposure Assessment</i>)	43
4.6.3.1 Analisis Pajanan Ikan Masai Bagian Daging dan Kepala Saja	44
4.6.3.2 Analisis Pajanan Ikan Masai Semua Bagian	49
4.6.4 Karakterisasi Risiko	54
4.6.4.1 Risiko Non-Karsinogenik	55
4.6.4.2 Risiko Karsinogenik	59
4.6.5 Pengelolaan Risiko	62
4.6.5.1 Penentuan Batas Aman	62
4.6.5.2 Penapisan Alternatif Pengelolaan Risiko	65
4.6.6 Komunikasi Risiko	66
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	67
5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran	68
DAFTAR PUSTAKA	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu	18
Tabel 3. 1 Tabel Konsentrasi Logam Berat Pada Air	24
Tabel 3. 2 Tabel Konsentrasi Logam Berat Pada Ikan.....	24
Tabel 3. 3 Deskripsi Lokasi Penyebaran Kuisoner	26
Tabel 3. 4 Jumlah Penduduk	28
Tabel 4. 1 Distribusi Frekuensi Jenis Kelamin Responden Konsumen Ikan masai Kecamatan Talawi Kota Sawahlunto	33
Tabel 4. 2 Distribusi Frekuensi Umur Responden Konsumen Ikan masai Kecamatan Talawi Kota Sawahlunto	34
Tabel 4. 3 Distribusi Frekuensi Status Perkawinan Responden Konsumen Ikan masai Kecamatan Talawi Kota Sawahlunto.....	35
Tabel 4. 4 Distribusi Frekuensi Berat Badan Responden Konsumen Ikan masai Kecamatan Talawi Kota Sawahlunto	35
Tabel 4. 5 Distribusi Frekuensi Pendidikan Responden Konsumen Ikan masai Kecamatan Talawi Kota Sawahlunto	36
Tabel 4. 6 Distribusi Frekuensi Pekerjaan Responden Konsumen Ikan masai Kecamatan Talawi Kota Sawahlunto	37
Tabel 4. 7 Pengetahuan Responden Terhadap Kontaminasi Logam Berat.....	40
Tabel 4. 7 Analisis <i>Metal Pollution Index</i> (MPI).....	40
Tabel 4. 8 Identifikasi Bahaya As dan Pb pada Ikan masai	42
Tabel 4. 9 Rekapitulasi Nilai Intake Dengan Data <i>Default</i>	53
Tabel 4. 10 Rekapitulasi Nilai Intake Dengan Data <i>Real</i>	54
Tabel 4. 11 Rekapitulasi Nilai RQ Timbal Untuk Konsumsi Daging dan Kepala Ikan.....	55
Tabel 4. 12 Rekapitulasi Nilai RQ Timbal Untuk Konsumsi Seluruh Bagian Ikan	56
Tabel 4. 13 Rekapitulasi Nilai RQ Arsenik Untuk Konsumsi Daging dan Kepala Ikan.....	58
Tabel 4. 14 Rekapitulasi Nilai RQ Arsenik Untuk Konsumsi Seluruh Bagian Ikan	58

Tabel 4. 15 Rekapitulasi Nilai ECR Arsenik Untuk Konsumsi Bagian Daging dan Kepala Ikan	60
Tabel 4. 16 Rekapitulasi Nilai ECR Arsenik Untuk Konsumsi Seluruh Bagian Ikan.....	61
Tabel 4. 17 Nilai Dari Ck Dan Cnk Untuk Tiap Lokasi	63
Tabel 4. 18 nilai dari Rnk dan Rk ikan masai Untuk Tiap Lokasi.....	64
Tabel 4. 19 Pengelolaan Risiko Dengan Beberapa Pendekatan.....	65
Tabel 4. 20 Alternatif Pendekatan Pada Komunikasi Risiko.....	66



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Ikan masai atau Genggehek (<i>Mystacoleucus marginatus</i>).....	12
Gambar 3. 1 Lokasi Penyebaran Kuesioner.....	23
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian	234
Gambar 4. 1 Lokasi Titik Pengambilan Ikan Masai	33



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sungai Batang Ombilin merupakan sungai yang berhulu di Danau Singkarak, sebagian besar alirannya mengalir melewati Kota Sawahlunto dan bermuara hingga ke arah timur ke Teluk Kuantan, Riau. Sungai ini telah dimanfaatkan sebagai sumber air untuk berbagai kepentingan seperti irigasi, PDAM, sebagai sumber air baku untuk proses pemisahan batubara dari material pengotor dan proses penguapan air sebagai penggerak turbin Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Salak milik PT. Bukit Asam. Adanya aktivitas manusia disekitar ekosistem sungai dapat mempengaruhi kualitas air sungai. Hal ini terjadi karena kurangnya saluran khusus untuk pembuangan limbah pabrik dan fasilitas pengelolaan air limbah. Akibat adanya kemungkinan limbah mengandung polutan berupa logam berat, hal ini turut menyumbang terjadinya pencemaran sungai (Purba dkk., 2015).

Pola konsumsi dapat diartikan sebagai kebiasaan atau frekuensi individu dalam mengonsumsi berbagai jenis makanan dan minuman selama periode waktu tertentu, yang mencerminkan kualitas, kuantitas, serta keragaman asupan gizi seseorang. Pola ini mencakup jenis makanan yang dikonsumsi, seberapa sering dikonsumsi (harian, mingguan, bulanan), serta porsi setiap konsumsi (Fikadu dkk., 2024). Pola konsumsi berguna untuk mengetahui nilai dari konsumsi harian dan cara pengolahan konsumsi khususnya ikan masai, Dalam konteks Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL), pola konsumsi memiliki peran yang sangat penting, terutama dalam menentukan tingkat paparan (*exposure*).

Distribusi ikan di perairan dapat berfungsi sebagai indikator lingkungan untuk menilai kondisi kesehatan ekosistem perairan atau kualitas habitat. Ikan masai (*Mystacoleucus marginatus*), yang juga dikenal sebagai genggehek, adalah salah satu spesies ikan yang banyak ditemukan di sepanjang Sungai Batang Ombilin. Ikan ini sering ditangkap dan dikonsumsi oleh masyarakat setempat. Oleh karena itu ikan masai dipilih sebagai bioindikator (Pirdaus dkk., 2018).

Menurut Muhtaroh dkk. (2024), logam berat adalah zat yang dapat berbahaya dan beracun jika kadarnya melebihi batas yang diizinkan, karena dapat merusak lingkungan dan ekosistem perairan. Pencemaran logam berat dapat menyebabkan efek mematikan (*lethal*) maupun non-mematikan (*sublethal*), seperti gangguan pada pertumbuhan, *perealaku*, dan ciri morfologi berbagai organisme akuatik. Logam berat dapat didefinisikan sebagai unsur-unsur dengan nomor atom antara 22 hingga 92 yang terletak pada periode 4 hingga 7 dalam tabel periodik Mendeleyev. Logam-logam berat ini memiliki sifat racun yang berbahaya bagi manusia dan organisme lainnya. Beberapa logam berat yang sering mencemari lingkungan dan dapat menimbulkan bahaya antara lain merkuri (Hg), timbal (Pb), arsenik (As), kadmium (Cd), kromium (Cr), dan nikel (Ni) (Muhtaroh dkk., 2024). Logam As merupakan logam karsinogenik yang berbahaya. Menurut penelitian Resetar-Deac (2015), kegiatan pertambangan memberikan dampak yang signifikan terhadap kualitas air di Lembah Socea, Negeri Oase. Logam berat seperti Cd, Pb, Cu, dan Zn terbukti mencemari perairan di Lembah Socea, utamanya akibat terbentuknya air asam tambang. Hal ini selaras dengan hasil penelitian Fauzan (2024) di Sungai Batang Ombilin, konsentrasi logam Pb tercatat mencapai 0,0816 mg/L di lokasi penambangan pasir dan emas melebihi batas baku mutu yang ditetapkan. Sementara itu, arsenik (As) juga ditemukan dalam kadar yang melebihi baku mutu di semua lokasi sepanjang Sungai Batang Ombilin menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran VI, dengan konsentrasi tertinggi pada lokasi yang terpengaruh oleh penambangan pasir dan emas, mencapai 0,0745 mg/L. Pemilihan logam berat timbal (Pb) dan arsenik (As) didasarkan pada hasil penelitian Fauzan (2024) yang menunjukkan bahwa kedua logam tersebut sering ditemukan dalam lingkungan perairan yang tercemar, khususnya di kawasan yang terpengaruh oleh aktivitas penambangan ilegal dan industri.

Penelitian Fauzan (2024), hanya menganalisis kadar logam berat pada air dan ikan masai Sungai Batang Ombilin namun penelitian ini melanjutkan tentang pola konsumsi masyarakat Kota Sawahlunto terhadap ikan masai dan mengenai tingkat analisis risiko logam berat akibat konsumsi ikan masai belum maksimal dilakukan dan masih terdapat kesalahan dalam perhitungan, sehingga perlu

dianalisis lebih lanjut Pb dan As. Penelitian ini juga menghitung tingkat Risiko di 5 lokasi sepanjang Sungai Batang Ombilin Selain itu juga penelitian ini menganalisis batas konsumsi aman yang tidak menyebabkan tingkat risiko.

1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian tugas akhir ini adalah untuk mendapatkan gambaran tentang pola konsumsi ikan masai (*Mystacoleucus marginatus*) dan analisis risiko.

Tujuan penelitian ini anatara lain:

1. Analisis pola konsumsi ikan masai (*Mystacoleucus marginatus*) di Kota Sawahlunto;
2. Analisis risiko kesehatan logam Pb dan As terhadap konsumen ikan masai (*Mystacoleucus marginatus*) di Sawahlunto berdasarkan data pola konsumsi di lapangan serta dibandingkan dengan data *default*.
3. Analisis nilai *Metal Pollution Index* (MPI) berdasarkan data penelitian terdahulu
4. Menghitung batas aman konsumsi Ikan masai yang terbukti memiliki risiko Kesehatan;
5. Memberikan rekomendasi pengelolaan risiko Kesehatan pada masyarakat Kota Sawahlunto

1.2 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang dapat diberikan pada penelitian ini adala:

1. Memberikan informasi yang lebih jelas kepada masyarakat Kota Sawahlunto mengenai pola konsumsi ikan masai (*Mystacoleucus marginatus*)
2. Memberikan informasi kepada masyarakat berapa batas aman konsumsi ikan masai di Kota Sawahlunto.
3. Memberikan informasi kepada masyarakat terhadap risiko kesehatan akibat logam berat pada air sungai dan dampak konsumsi daging ikan masai (*Mystacoleucus marginatus*) yang mengandung logam berat.
4. Memberikan informasi mengenai nilai *Metal Pollution Index* (MPI) pada ikan masai di Kota Sawahlunto.
5. Memberikan rekomendasi pengelolaan risiko kesehatan yang dapat

diterapkan oleh pemerintah dan masyarakat untuk mengurangi dampak dari konsumsi ikan yang terkontaminasi logam berat, serta menjaga kualitas hidup masyarakat di sekitar Sungai Batang Ombilin.

1.3 Batasan Masalah

Ruang lingkup penelitian ini meliputi:

1. Penelitian menggunakan metode observasional.
2. Konsentrasi logam Pb dan As pada ikan masai (*Mystacoleucus marginatus*) menggunakan data sekunder dari penelitian terdahulu, penelitian (Fauzan, 2024).
3. Kuesioner disebarkan terhadap responden yang merupakan konsumen di Kota Sawahlunto.
4. Metoda analisis risiko yang digunakan yaitu Analisa Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) sesuai dengan buku pedoman ARKL.
5. Penyebaran kuesioner dilakukan di Pasar Talawi Kota Sawahlunto.
6. Responden yang dipilih untuk penelitian ini adalah mereka yang memiliki kebiasaan mengonsumsi ikan masai.
7. Data yang dikumpulkan dari kuesioner akan dianalisis menggunakan Microsoft Excel dan *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS).
8. Analisis risiko kesehatan akan dilakukan menggunakan *Risk Quetient* (RQ) dan *Excess Cancer Risk* (ECR) berdasarkan Buku Pedoman ARKL.
9. Penelitian ini akan menilai batas konsumsi ikan masai yang aman dengan mempertimbangkan konsentrasi logam berat Pb dan As yang ada dalam ikan tersebut.
10. Penelitian ini tidak mengevaluasi dampak lingkungan secara keseluruhan selain pencemaran air dan konsumsi ikan, seperti dampak dari polusi udara atau perubahan iklim terhadap kesehatan masyarakat.
11. Data *real* pada penelitian ini untuk menghitung ARKL langsung diambil dari hasil wawancara dengan responden.
12. Data konsumsi ikan masai masyarakat Kota Sawahlunto diambil dari konsumsi beberapa tahun terakhir, dikarenakan pada saat penelitian ikan masai tidak banyak dikarenakan dampak dari banjir bandang di sepanjang Sungai Batang Ombilin pada tahun 2024.

13. Data *real* yang digunakan untuk perhitungan nilai ARKL adalah data berat badan dan data konsumsi harian (R).
14. Untuk data konsumsi harian (R) diambil data rata-rata satu tahun konsumsi ikan masai dari 100 responden.
15. Data berat badan untuk perhitungan data *real* diambil dari rata-rata berat badan dari 100 responden.
16. Data pada perhitungan ARKL nilai *default* yang digunakan berdasarkan buku Pedoman ARKL Tahun 2012.
17. Sumber untuk Dosis Referensi dan *Slope Factor* diambil dari website IRIS USEPA.
18. Kuesioner yang digunakan berjumlah 100 orang responden yang berada di sekitaran Pasar Talawi Kota Sawahlunto.

1.4 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisikan latar belakang, maksud dan tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini bertujuan untuk memberikan landasan teoretis, mendukung relevansi penelitian, dan menunjukkan celah yang ingin diisi oleh penelitian Anda. Tinjauan pustaka ini membantu pembaca memahami konteks penelitian dan justifikasi ilmiah dari tujuan yang ingin dicapai.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini memberikan gambaran sistematis tentang bagaimana penelitian dilakukan, dari pengumpulan bahan hingga analisis data untuk mencapai tujuan penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan hasil penelitian disertai pembahasannya.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memuat kesimpulan dan saran berdasarkan penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sungai Batang Ombilin

Sungai Batang Ombilin merupakan salah satu sungai utama di Provinsi Sumatera Barat, Indonesia, yang berhulu di Danau Singkarak dan mengalir melalui Kabupaten Sijunjung hingga bermuara di Selat Malaka. Panjang sungai ini mencapai sekitar 80 km, membelah wilayah tengah Pulau Sumatra dan melintasi berbagai ekosistem serta aktivitas manusia. Keberadaan sungai ini sangat penting bagi kehidupan masyarakat sekitar, baik sebagai sumber air bersih, irigasi pertanian, maupun sebagai jalur transportasi. Namun, kondisi Sungai Batang Ombilin saat ini menghadapi berbagai tantangan lingkungan yang serius. Salah satu masalah utama adalah pencemaran air yang disebabkan oleh aktivitas manusia di sepanjang aliran sungai. Penelitian yang dilakukan oleh Meydiyati dkk. (2018) menunjukkan bahwa kualitas air sungai ini telah menurun akibat polusi dari berbagai sumber, seperti limbah domestik, industri, dan pertambangan. Analisis kualitas air menggunakan parameter *Total Dissolved Solids* (TDS), *Total Suspended Solids* (TSS), pH, *Dissolved Oxygen* (DO), *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) menunjukkan bahwa nilai-nilai tersebut berada di bawah standar baku mutu air kelas II menurut Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001. Hal ini mengindikasikan bahwa air Sungai Batang Ombilin telah tercemar dan tidak layak konsumsi tanpa pengolahan lebih lanjut. Dampak dari pencemaran ini tidak hanya dirasakan oleh lingkungan, tetapi juga oleh masyarakat sekitar. Air sungai yang tercemar mengurangi kualitas hidup warga yang bergantung pada sungai untuk kebutuhan sehari-hari. Selain itu, penurunan kualitas air juga mempengaruhi keberagaman hayati di sungai, termasuk komunitas *makrozoobentos* yang berfungsi sebagai indikator kesehatan ekosistem perairan.

2.2 Pencemaran Air

Pencemaran air merupakan salah satu masalah lingkungan yang signifikan di banyak daerah, termasuk di Indonesia. Sungai sebagai sumber utama air bersih bagi

masyarakat sering kali menjadi tempat pembuangan limbah domestik, industri, dan pertanian, yang menyebabkan penurunan kualitas air secara drastis. Penelitian oleh Leonard dkk. (2024) mengidentifikasi bahwa pencemaran air di sungai-sungai perkotaan dan pedesaan dapat berdampak negatif terhadap kesehatan masyarakat. Air sungai yang tercemar dapat mengandung bakteri koliform dan bahan kimia berbahaya seperti amonium dan total nitrat yang melebihi standar yang ditetapkan oleh World Health Organization (WHO) dan Rekomendasi Pengelolaan Lingkungan Nasional. Selain itu, penelitian di Sungai Semenyih, Malaysia, menemukan bahwa pencemaran air sungai dapat meningkatkan laju bakteri *E. coli* yang resisten terhadap antibiotik. Hal serupa juga ditemukan di daerah aliran sungai Vrishabavathi, India, di mana penggunaan air sungai yang tercemar dapat mengurangi hasil panen dan mempengaruhi kesehatan manusia dan hewan. Dampak pencemaran air sungai akibat limbah dapat berupa penurunan kualitas air, peningkatan kandungan unsur hara yang menyebabkan eutrofikasi, serta penurunan jumlah oksigen yang dapat menyebabkan kematian organisme akuatik. Air adalah sumber daya alam yang memiliki peran penting dalam proses transportasi makanan, penyedia energi, dan pemenuhan kebutuhan lainnya. Setiap organisme hidup memerlukan air untuk kelangsungan hidupnya. Di seluruh permukaan bumi, terdapat sekitar $1,36 \times 10^{18} \text{ m}^3$ air, baik yang bersifat asin maupun tawar. Jumlah air tawar di bumi cenderung konstan, dan distribusinya mengikuti pola siklus hidrologi (Eko K. P., 2020). Air tawar ini dapat ditemukan dalam berbagai bentuk, seperti salju dan es di kutub, air tanah, air permukaan, awan, kabut, embun, dan hujan.

2.3 Pencemaran Sungai

Pencemaran sungai merupakan salah satu isu lingkungan yang mendesak, terutama di kawasan perkotaan dan industri. Sungai yang tercemar dapat mengancam kesehatan manusia, merusak ekosistem akuatik, dan mengurangi kualitas sumber daya air. Penyebab utama pencemaran sungai meliputi pembuangan limbah domestik, industri, pertanian, serta aktivitas ilegal seperti penambangan liar. Pencemaran sungai dapat dibedakan menjadi dua kategori utama: sumber titik (*point source*) dan sumber non-titik (*non-point source*). Sumber titik mencakup

pembuangan limbah dari pabrik, rumah sakit, dan instalasi pengolahan air limbah yang tidak berfungsi dengan baik. Contohnya, di Sungai Cisadane, Kota Tangerang, pencemaran disebabkan oleh limbah domestik dan industri yang tidak dikelola dengan baik. Sementara itu, sumber non-titik meliputi limpasan air hujan yang membawa polutan dari lahan pertanian, perkotaan, dan daerah pemukiman ke sungai (Dawud dkk., 2016)

Dampak pencemaran sungai sangat luas, mencakup aspek kesehatan, ekosistem, dan sosial-ekonomi. Menurut penelitian oleh Sugiester S dkk. (2021), pencemaran sungai di Indonesia dapat menyebabkan gangguan kesehatan seperti diare, kolera, dan penyakit kulit akibat kontak langsung dengan air tercemar. Selain itu, pencemaran juga menyebabkan penurunan kualitas air, peningkatan kandungan unsur hara yang menyebabkan eutrofikasi, serta gangguan pada ekosistem akuatik.

2.4 Aktivitas Pertambangan Terhadap Lingkungan Perairan

Aktivitas pertambangan, meskipun berkontribusi signifikan terhadap perekonomian, dapat menimbulkan dampak negatif yang serius terhadap lingkungan perairan. Kegiatan ekstraksi mineral sering kali menghasilkan limbah yang mengandung logam berat dan bahan kimia berbahaya lainnya, yang dapat mencemari sungai, danau, dan perairan pesisir. Salah satu bentuk pencemaran yang umum terjadi adalah *acid mine drainage* (AMD), yaitu aliran asam yang terbentuk ketika sulfida dalam bijih mineral teroksidasi dan bereaksi dengan air, menghasilkan asam sulfat dan logam berat terlarut seperti timbal (Pb), kadmium (Cd), dan arsenik (As). Kondisi asam ini dapat menurunkan pH air hingga kurang dari 4, yang berbahaya bagi kehidupan akuatik dan dapat merusak ekosistem perairan secara keseluruhan. Selain itu, limbah padat berupa tailing yang dihasilkan dari proses pemisahan mineral juga dapat mencemari perairan. Tailing mengandung logam berat dan bahan kimia beracun yang jika tidak dikelola dengan baik, dapat mencemari sungai dan sumber air tanah, mengancam kesehatan manusia dan biota perairan. Sebagai contoh, di Kabupaten Bantaeng, Sulawesi Selatan, aktivitas pertambangan nikel telah menyebabkan penurunan kualitas air akibat limbah yang mengandung logam berat terlarut dengan sifat asam tinggi, yang mengganggu kehidupan flora dan fauna serta kesehatan masyarakat sekitar (Nurfatimah, 2023). Pencemaran logam berat dapat mengakibatkan bioakumulasi dalam tubuh

organisme akuatik. Logam berat yang terakumulasi dalam rantai makanan dapat berdampak pada kesehatan manusia yang mengonsumsi ikan atau air tercemar. Selain itu, pencemaran ini dapat menyebabkan penurunan keanekaragaman hayati, kerusakan habitat, dan gangguan pada proses reproduksi biota perairan. Di Kecamatan Pomalaa, Sulawesi Tenggara, aktivitas pertambangan nikel telah menyebabkan penurunan keanekaragaman spesies gastropoda sebagai bioindikator kualitas air. Di area yang terdampak, hanya ditemukan 7 spesies gastropoda, sementara di area kontrol terdapat 39 spesies. Penurunan keanekaragaman ini menunjukkan bahwa aktivitas pertambangan dapat merusak struktur komunitas biota perairan dan menurunkan kualitas ekosistem secara keseluruhan (Fajar Purnama & Suprihanto, 2025).

2.5 Logam Berat

Pencemaran logam berat pada perairan sungai merupakan masalah lingkungan yang signifikan dan mendesak, dengan dampak jangka panjang terhadap ekosistem akuatik dan kesehatan manusia. Logam berat seperti Pb, Hg, Cd, Cr, dan As memiliki sifat toksik, persisten, dan cenderung terakumulasi dalam tubuh organisme, termasuk manusia. Peningkatan kadar logam berat dalam air sungai umumnya disebabkan oleh masuknya limbah industri, pertambangan, pertanian, dan domestik yang banyak mengandung logam berat. Menurut penelitian oleh Effendi (2000), peningkatan kadar logam berat dalam air akan mengakibatkan logam berat yang semula dibutuhkan untuk berbagai proses metabolisme berubah menjadi racun bagi organisme akuatik. Logam berat yang telah terserap ke dalam tubuh organisme dapat menyebabkan gangguan metabolisme, kerusakan organ, dan bahkan kematian. Dampak pencemaran logam berat terhadap ekosistem perairan sangat luas. Logam berat dapat mengganggu proses fisiologis organisme akuatik, seperti respirasi, reproduksi, dan pertumbuhan. Penurunan kualitas air akibat pencemaran logam berat juga dapat menyebabkan penurunan keanekaragaman hayati dan produktivitas perairan. Selain itu, logam berat yang terakumulasi dalam tubuh organisme akuatik dapat masuk ke dalam rantai makanan dan berdampak pada kesehatan manusia yang mengonsumsi ikan atau air tercemar.

2.5.1 Timbal (Pb)

Pb adalah logam berat beracun yang memiliki dampak serius terhadap lingkungan perairan dan kesehatan manusia. Pencemaran Pb di perairan dapat berasal dari berbagai sumber antropogenik, termasuk aktivitas pertambangan, industri, dan penggunaan produk berbasis timbal. Pb memiliki sifat persisten dan bioakumulatif, sehingga dapat terakumulasi dalam tubuh organisme akuatik dan masuk ke dalam rantai makanan, berpotensi menyebabkan kerusakan ekosistem dan gangguan kesehatan pada manusia yang mengonsumsi biota perairan tercemar (Raj & Das, 2023).

Salah satu contoh pencemaran Pb di perairan adalah yang terjadi di Perairan Pantai Semarang. Penelitian oleh Kusumadiani dkk. (2024) menunjukkan bahwa pada bulan Januari 2023, kadar Pb dalam air mencapai 0,067 mg/L, melebihi baku mutu yang ditetapkan sebesar 0,008 mg/L menurut Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021. Namun, pada bulan Maret 2023, kadar Pb dalam air menurun menjadi kurang dari 0,003 mg/L, menunjukkan adanya fluktuasi konsentrasi Pb yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti musim dan curah hujan. Meskipun demikian, kadar Pb dalam sedimen dan kerang darah (*Anadara granosa*) tetap berada di bawah baku mutu yang ditetapkan, menunjukkan adanya potensi akumulasi Pb dalam ekosistem perairan. Dampak pencemaran Pb terhadap ekosistem perairan sangat signifikan. Pb dapat mengganggu proses fisiologis organisme akuatik, seperti respirasi, reproduksi, dan pertumbuhan. Penurunan kualitas air akibat pencemaran Pb juga dapat menyebabkan penurunan keanekaragaman hayati dan produktivitas perairan. Selain itu, Pb yang terakumulasi dalam tubuh organisme akuatik dapat masuk ke dalam rantai makanan dan berdampak pada kesehatan manusia yang mengonsumsi ikan atau air tercemar.

2.5.2 Arsenik (As)

Arsenik (As) adalah elemen kimia yang termasuk dalam kelompok metaloid (semi-logam) golongan VA. Unsur ini dapat ditemukan di alam dalam bentuk senyawa organik maupun anorganik (Maksuk, 2009). Sebagai salah satu logam berat, As memiliki tingkat racun yang sangat tinggi dan berdampak buruk terhadap lingkungan. Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) mengklasifikasikan arsenik

sebagai karsinogen kelompok satu yang dapat ditemukan di udara, tanah, air, dan makanan. Meskipun arsenik memiliki tingkat toksisitas yang sangat tinggi, konsentrasinya cenderung rendah (Tyler & Allan, 2014)

2.6 Bioindikator

Sebagaimana dijelaskan oleh para analis, pendekatan lingkungan harus mencakup teknik-teknik organik. Dengan memanfaatkan daftar biotik, yang diperoleh dari spesies bioindikator, elemen-elemen alami dapat lebih efektif menunjukkan adanya perubahan atau ketidakaturan dalam kondisi iklim (Husamah dkk., 2019). Perubahan dalam kehadiran atau ketidakhadiran spesies, kelimpahan, morfologi, fisiologi, atau perevaluasi dapat menunjukkan bahwa variabel fisik atau senyawa tertentu melebihi batas toleransi. Bioindikator memiliki persyaratan khusus terkait berbagai faktor fisik atau senyawa yang sudah diketahui. Meskipun bioindikator untuk perubahan dan kondisi alami yang "normal" tidak banyak digunakan, sebagian besar bioindikator hanya berlaku untuk spesies yang menanggapi dampak ekologi antropogenik. Di sisi lain, penanda alami dapat secara komprehensif dicirikan sebagai dampak perubahan ekologi pada lingkungan, jaringan, atau sistem biologis, dan merupakan tanda keragaman takson atau keragaman secara keseluruhan di suatu lokasi. Definisi ini berlaku untuk spesies dan kelompok spesies (Husamah dkk., 2019)

2.7 Ikan Masai (*Mystacoleucus marginatus*)

Ikan masai atau Genggehek (*Mystacoleucus marginatus*) adalah sejenis ikan air tawar anggota suku *Cyprinidae* (Lanctôt dkk., 2016). Ikan yang dipilih memiliki ukuran kecil hingga sedang, dengan panjang keseluruhan sekitar 200 mm. Ikan ini memiliki 26-29 garis horizontal pada tubuhnya dan hidung yang dilengkapi dengan 4 sungut kecil. Ketinggian tubuh pada awal sisik punggung sekitar 2,7 kali panjang standar (panjang tanpa sisik ekor). Panjang kepala adalah 4,1-4,2 kali panjang standar. Awal bilah punggung terletak kira-kira sejajar dengan sisik garis paralel kesembilan atau kesepuluh, berada di belakang awal sisik panggul, dan dipisahkan dari mahkota oleh 9-10 sisik (Maduwu, 2019).



Gambar 2. 1 Ikan masai atau Genggehek (*Mystacoleucus marginatus*)

Sumber: <https://ikanjambi.unja.ac.id/explorer-detail/46>

2.8 Pola Konsumsi Ikan oleh Masyarakat

Pola konsumsi berasal dari kata pola dan konsumsi. Pola adalah bentuk (struktur) yang tetap (sumber) sedangkan konsumsi adalah pengeluaran yang dilakukan oleh individu atau kelompok dalam rangka pemakaian barang dan jasa hasil produksi untuk memenuhi kebutuhan. Jadi pola konsumsi adalah bentuk (struktur) pengeluaran individu atau kelompok dalam rangka pemakaian barang dan jasa hasil produksi sebagai pemenuhan kebutuhan (Suryani dkk., 2022).

Menurut data yang diambil dari (Badan Pusat Statistik, 2023) Maret 2023, pola konsumsi ikan di Sumatera Barat menunjukkan berbagai tren konsumsi ikan yang dapat memberi gambaran tentang preferensi masyarakat terhadap jenis ikan yang dikonsumsi. Secara keseluruhan, ikan merupakan salah satu sumber protein utama dalam pola konsumsi makanan penduduk, meskipun terdapat perbedaan dalam jenis ikan yang lebih disukai di berbagai daerah.

1. Konsumsi Ikan Secara Umum di Sumatera Barat

Berdasarkan data dari BPS, ikan tongkol, tuna, dencis, dan cakalang adalah jenis ikan yang paling banyak dikonsumsi oleh penduduk Sumatera Barat pada tahun 2023, dengan konsumsi rata-rata sebesar 0,099 kg per kapita per minggu. Meskipun ada penurunan sebesar 3,84% dibandingkan tahun 2022, ikan-ikan ini tetap menjadi komoditas penting dalam pola konsumsi ikan masyarakat. Jenis ikan lainnya yang juga banyak dikonsumsi adalah ikan kembung, lema/tatare, banyar/banyara, yang mengalami peningkatan konsumsi sebesar 11,80% pada periode yang sama.

2. Perbedaan Konsumsi Ikan Berdasarkan Daerah Tempat Tinggal

Pola konsumsi ikan juga menunjukkan perbedaan yang signifikan antara penduduk di daerah perkotaan dan perdesaan. Di daerah perkotaan, penduduk mengkonsumsi lebih banyak ikan tongkol, tuna, cakalang, dan dencis, dengan konsumsi mencapai 0,107 kg per kapita per minggu. Sementara itu, di perdesaan, konsumsi ikan-ikan tersebut sedikit lebih rendah, yakni 0,091 kg per kapita per minggu. Hal ini menunjukkan adanya variasi dalam pilihan ikan yang dikonsumsi berdasarkan lokasi tempat tinggal, yang mungkin dipengaruhi oleh faktor aksesibilitas dan preferensi lokal terhadap jenis ikan tertentu.

3. Tren Perubahan Konsumsi Ikan

Secara keseluruhan, konsumsi ikan di Sumatera Barat mengalami beberapa fluktuasi pada tahun 2023, dengan beberapa jenis ikan mengalami penurunan. Misalnya, konsumsi ikan mas, nila mengalami penurunan sebesar 10,38%, dan ikan mujair juga turun sebesar 14,06%. Sebaliknya, konsumsi ikan teri basah meningkat 6,41%. Tren ini menunjukkan adanya perubahan preferensi dalam konsumsi ikan masyarakat, yang mungkin dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti ketersediaan ikan, harga, serta perubahan pola makan masyarakat.

2.9 Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan

Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) memberikan kerangka ilmiah yang sistematis untuk menggambarkan risiko zat di lingkungan dan memfasilitasi manajemen risiko dan pengambilan keputusan terkait kondisi kesehatan manusia. ARKL merupakan penilaian atau evaluasi risiko kesehatan yang dapat terjadi sewaktu-waktu pada populasi berisiko. ARKL adalah metode yang cocok untuk mempelajari dampak lingkungan terhadap kesehatan masyarakat. Analisis risiko adalah proses menghitung atau memperkirakan risiko suatu organisme, sistem, atau populasi berdasarkan target spesifik dan karakteristik obat (Dirjen P2PL, 2012).

Bahaya lingkungan mempunyai potensi mempengaruhi atau mempengaruhi kesehatan manusia. Bahaya ini dapat menimbulkan gejala mulai dari gejala ringan seperti batuk berisi lendir dan gatal-gatal, hingga gejala parah yang dapat berujung pada mutasi genetik, kanker, bahkan kematian. Bahaya lingkungan dapat terjadi secara sinergis di dalam tubuh manusia. Bahaya tersebut dapat dibagi menjadi tiga kategori: bahaya biologis yang terdiri dari virus dan patogen,

bahaya fisik seperti gelombang dan radiasi, dan bahaya kimia seperti zat beracun (Dirjen P2PL, 2012).

Jenis ARKL terdiri dari 2 jenis yaitu kajian lapangan (*Field Study*) dan kajian cepat ARKL (*Dekstop Study*). Kajian lapangan (*Field Study*) dilakukan dengan pengukuran secara langsung mengenai kualitas lingkungan, data antropometri, dan pajanan, sedangkan kajian cepat ARKL (*Dekstop Study*) dilakukan dengan menggunakan nilai-nilai *default*, asumsi, dan rekomendasi. Terdapat 4 langkah yang dilakukan untuk mengetahui tingkat risiko kesehatan masyarakat terhadap formalin. Langkah tersebut ialah (Dirjen P2PL, 2012):

1. Identifikasi Bahaya (*Hazard-Identification*)

Langkah pertama dalam ARKL yang berguna untuk mengetahui secara spesifik agen risiko yang berpotensi menyebabkan gangguan kesehatan apabila tubuh terpajan. Tahap ini menjelaskan tentang agen yang berisiko yang berbahaya, media lingkungan eksisting, besar kandungan agen tersebut, dan gejala kesehatan yang ditimbulkan.

2. Analisis dosis-respon (*Dose-Respon Assessment*)

Analisis dosis respon dilakukan dengan mencari nilai Dosis Referensi (RfD), Konsentrasi Referensi (RfC) atau *Slope Factor* (SF) dari agen risiko yang menjadi fokus ARKL dan memahami efek apa saja yang mungkin timbul akibat agen tersebut. Nilai RfD dan RfC ialah nilai yang dijadikan referensi untuk nilai aman pada efek non karsinogenik suatu agen risiko sedangkan SF ialah referensi untuk nilai yang aman pada efek karsinogenik.

3. Analisis Pajanan (*Exposure Assessment*)

Analisis pemajanan dilakukan dengan mengukur atau menghitung intake/asupan dari agen risiko. Untuk menghitung intake terdapat rumus atau persamaan berikut

$$ink = \frac{C \cdot R \cdot f_{E.Dt}}{W_b \cdot T_{avg}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

Ink (Intake) :Jumlah konsentrasi agen risiko yang masuk ke dalam tubuh manusia (mg/kg.hari)

C (Concentration) :Konsentrasi agen risiko pada ikan (mg/kg)

R (Rate) :Laju konsumsi jumlah berat makanan yang masuk setiap jamnya (gram/hari)

f_E (Frecuency of exposure) :Lamanya atau jumlah hari terjadinya pajanan setiap tahunnya (Hari/Tahun)

Dt (Duration Time) :Lamanya atau jumlah terjadinya pajanan (Tahun)

T_{avg} (nk) :Periode waktu rata-rata untuk efek non karsinogen (hari)

W_b (Weight of Body) :Berat badan manusia/populasi (kg)

Karakterisasi Risiko (Risk Characterization) Karakterisasi risiko bertujuan untuk menetapkan tingkat risiko atau menentukan agen risiko pada konsentrasi tertentu yang dianalisis yang berisiko menimbulkan gangguan kesehatan pada masyarakat. Nilai RQ pada pemajanan jalur oral dapat dihitung dengan (Dirjen P2PL, 2012):

$$RQ = \frac{Ink}{RfD} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan

Ink : *Intake*

RfD : Nilai referensi agen risiko pada pemajanan ingesti

Nilai RfD ialah nilai yang dijadikan referensi untuk nilai aman pada efek non karsinogenik suatu agen risiko sedangkan SF ialah referensi agen risiko untuk nilai yang aman pada efek karsinogenik. Tingkat risiko dapat dikatakan aman apabila nilai intake $\leq$ RfD atau dinyatakan dengan $RQ \leq 1$. Tingkat risiko dapat dikatakan tidak aman apabila nilai intake $\geq$ RfD atau dinyatakan dengan $RQ > 1$.Perhitungan konsentasi aman dan laju asupan aman dapat dihitung penggunaan persamaan berikut :

a) Konsentrasi aman non karsinogenik (insgesti)

$$CnK (aman) = \frac{RfD \times w_b \times t_{avg}}{R \times t_E \times f_E \times D_t} \dots\dots\dots(2.3)$$

b) Konsentari aman karsinogenik (ingesti)

$$C_k (\text{aman}) = \frac{(0.0001) \times w_b \times 70 \times 365}{R \times X \times f_E \times D_t} \dots\dots\dots(2.4)$$

c) Konsentrasi aman non karsinogenik (ingesti)

$$RnK (\text{aman}) = \frac{RfD \times w_b \times t_{avg}}{C \times X \times f_E \times D_t} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan:

- RfD (*Reference dose*) : Nilai referensi agen risiko pemajanan
- ingesti R (*Rate*) : Laju asupan volume makanan masuk ke tubuh setiap hari.
- C (*Concentration*) : Konsentrasi risiko kontaminan pada makanan.
- t_E (*time of exposure*) : Lamanya terjadinya pajanan setiap harinya.
- f_E (*Frecuency of exposure*) : Lamanya atau jumlah hari terjadinya pajanan tiap tahunnya.
- D_t (*Duration time*) : Lamanya atau jumlah tahun terjadinya pajanan.
- W_b (*Weight of body*) : Berat badan manusa/populasi.
- Tav (*time average*) : Periode waktu rata rata untuk efek non karsinogenik

2.10 Risk Quotient (RQ) dan Target Hazard Quotient (THQ)

Risk Quotient (RQ) dalam konteks Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) merupakan nilai kuantitas yang digunakan untuk mengkarakterisasi tingkat risiko kesehatan akibat paparan zat berbahaya di lingkungan. RQ dihitung dengan membagi estimasi paparan (*exposure*) dengan estimasi efek kesehatan (*effects*). . Metode ini menjadi alat skrining penting dalam penilaian risiko untuk mengidentifikasi situasi yang berisiko tinggi atau rendah terhadap kesehatan manusia dan ekosistem. Nilai RQ yang lebih besar dari 1 menunjukkan adanya risiko kesehatan yang nyata dan tidak dapat diabaikan (U.S. Environmental Protection Agency, 2023).

Target Hazard Quotient (THQ) merupakan indeks numerik yang dikembangkan oleh United States Environmental Protection Agency (US EPA) untuk mengevaluasi risiko kesehatan non-karsinogenik akibat paparan jangka panjang terhadap zat berbahaya atau polutan dalam lingkungan. THQ didefinisikan sebagai rasio antara paparan terhadap elemen toksik dengan dosis referensi (*reference dose*), yang merupakan tingkat paparan tertinggi di mana tidak ada efek kesehatan

yang merugikan yang diharapkan terjadi. THQ menggambarkan risiko kesehatan non-karsinogenik yang ditimbulkan oleh paparan terhadap elemen toksik tertentu. Jika nilai THQ kurang dari 1, maka efek kesehatan non-karsinogenik tidak diperkirakan akan terjadi. Namun, jika THQ lebih besar dari 1, maka ada kemungkinan efek kesehatan yang merugikan dapat dialami. Penting untuk dipahami bahwa THQ yang melebihi angka 1 bukanlah probabilitas statistik bahwa efek kesehatan non-karsinogenik akan terjadi, melainkan indikator peningkatan kemungkinan terjadinya respons toksikologis (Peterson RK., 2006)

2.11 Excess Cancer Risk (ECR) dan Cancer Risk (CR)

Excess Cancer Risk (ECR), yang lebih sering disebut sebagai *Excess Lifetime Cancer Risk* (ELCR), merupakan metode kuantitatif untuk mengestimasi probabilitas tambahan seseorang mengembangkan kanker sepanjang hidupnya akibat paparan terhadap zat karsinogenik di lingkungan. ELCR didefinisikan sebagai peningkatan risiko terjadinya kanker di atas tingkat kejadian kanker latar belakang (*background*) akibat paparan terhadap kontaminan. Konsep ini dikembangkan oleh United States Environmental Protection Agency (US EPA) untuk memberikan penilaian risiko karsinogenik yang lebih informatif kepada masyarakat dan pengambil kebijakan. (Abbasi & Mirekhtiary, 2019)

Cancer Risk (CR) adalah istilah yang digunakan untuk mengestimasi risiko kanker akibat paparan terhadap zat karsinogenik, dan pada dasarnya merupakan istilah yang sama dengan ELCR. CR dihitung untuk karsinogen yang memiliki nilai risiko kanker yang tersedia seperti *Cancer Slope Factor* (CSF) atau *Inhalation Unit Risk* (IUR). Ketika memiliki dosis paparan, CR diperoleh dengan mengalikan CSF dengan estimasi dosis paparan. Ketika memiliki konsentrasi udara, CR diperoleh dengan mengalikan IUR dengan konsentrasi udara (Qureshi dkk., 2014)

2.12 Penelitian Terdahulu

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul Penelitian	Lokasi Penelitian	Hasil	Jenis Ikan
1.	Tanjung dkk., 2025	Ecological and Human Health Risks Assessment Related to Heavy Metals in Surface Sediments and Some Fish Species in Lake Sentani, Indonesia	Danau Sentani, Provinsi Papua, Indonesia	1. Konsentrasi logam berat dalam sedimen dan ikan di Danau Sentani menunjukkan urutan $Zn > Ni > Cu > Pb > Cd > Hg$, dengan konsentrasi logam tertinggi pada sedimen dan ikan. 2. Indeks Risiko Ekologis (ERI) di Danau Sentani berkisar antara 100,21 hingga 333,25, menunjukkan risiko ekologis yang moderat. 3. <i>Target Hazard Quotient</i> (THQ) menunjukkan risiko non-karsinogenik rendah pada sebagian besar ikan, kecuali pada spesies <i>A. citrinellus</i> dan <i>C. fasciata</i> yang memiliki THQ lebih dari 1 di muara Sungai Kampwoker. 4. Indeks Bahaya (HI) berkisar antara 0,16 hingga 4,36, menunjukkan potensi risiko non-karsinogenik pada beberapa spesies ikan. 5. Risiko Karsinogenik (CR) menunjukkan bahwa CR untuk Ni berada dalam kategori risiko kanker signifikan, sementara CR untuk Pb menunjukkan risiko kanker sangat rendah. 6. Kesimpulannya, akumulasi logam berat di Danau Sentani dapat menimbulkan dampak negatif terhadap ekosistem dan kesehatan	1. Ikan Tilapia Nil (<i>Oreochromis niloticus</i>) 2. Ikan Gabus (<i>Osteochilus vittatus</i>) 3. Ikan Cichlid Lemon (<i>Amphilophus citrinellus</i>) 4. Ikan Kakap Hitam (<i>Arius velutinus</i>) 5. Ikan Rainbow (<i>Chilatherina fasciata</i>) 6. Ikan Rainbow Papua (<i>Glossolepis incisus</i>)

No	Peneliti	Judul Penelitian	Lokasi Penelitian	Hasil	Jenis Ikan
2.	Fauzan, 2024	Biomonitoring Logam Berat (As, Pb, Hg, dan Cd) pada ikan masai (<i>Mystacoleucus marginatus</i>) dan Air di Sungai Batang Ombilin Sawahlunto	Sungai Batang Ombilin, Sawahlunto, Sumatera Barat	manusia, yang memerlukan tindakan pencegahan dan pengendalian pencemaran. 1. Kandungan logam berat dalam air Sungai Batang Ombilin menunjukkan bahwa arsenik (As) dan timbal (Pb) melebihi baku mutu di beberapa lokasi, sedangkan merkuri (Hg) dan kadmium (Cd) melebihi baku mutu di semua lokasi. 2. Konsentrasi logam berat dalam organ ikan masai (<i>Mystacoleucus marginatus</i>) memenuhi baku mutu FAO/WHO 2004. 3. Akumulasi logam berat tertinggi ditemukan di wilayah pemukiman. 4. Nilai Bioconcentration Factor (BCF) untuk logam As, Pb, Hg, dan Cd lebih rendah dari nilai BCF yang ditetapkan. 5. Penilaian risiko menunjukkan bahwa ikan masai di Sungai Batang Ombilin aman untuk dikonsumsi dengan nilai $RQ > 1$, yang mengindikasikan tidak ada risiko kesehatan non-karsinogenik. 6. Berdasarkan perhitungan Carcinogenic Risk (CR), ikan masai aman dikonsumsi karena nilai risiko kanker sangat rendah.	ikan masai (<i>Mystacoleucus marginatus</i>)
3.	Bimantoro, 2022	Analisis Risiko Logam Berat Pb, Hg, dan As pada Daging Ikan Nila (<i>Oreochromis niloticus</i>) Terhadap Kesehatan	Danau Maninjau, Provinsi Sumatera	1. Konsentrasi logam berat Pb, Hg, dan As pada daging ikan nila (<i>Oreochromis niloticus</i>) di Danau Maninjau menunjukkan variasi yang berbeda-beda.	ikan nila (<i>Oreochromis niloticus</i>)

No	Peneliti	Judul Penelitian	Lokasi Penelitian	Hasil	Jenis Ikan
		Masyarakat di Danau Maninjau, Sumatera Barat.	Barat, Indonesia.	2. Konsentrasi logam berat Pb melebihi batas aman yang ditetapkan oleh standar kesehatan internasional, sementara Hg dan As tidak terdeteksi dalam jumlah yang signifikan. 3. Berdasarkan perhitungan RQ dan ECR, risiko kesehatan non-karsinogenik dan karsinogenik akibat konsumsi ikan nila di daerah ini menunjukkan nilai RQ yang rendah namun ECR untuk Pb menunjukkan potensi risiko kanker yang tidak signifikan. 4. Hasil ini mengindikasikan bahwa konsumsi ikan nila di Danau Maninjau dengan kontaminasi logam berat Pb tidak menimbulkan risiko kesehatan jangka panjang yang signifikan untuk masyarakat setempat, namun perlu ada pemantauan rutin untuk mengurangi potensi pencemaran lebih lanjut.	

BAB III

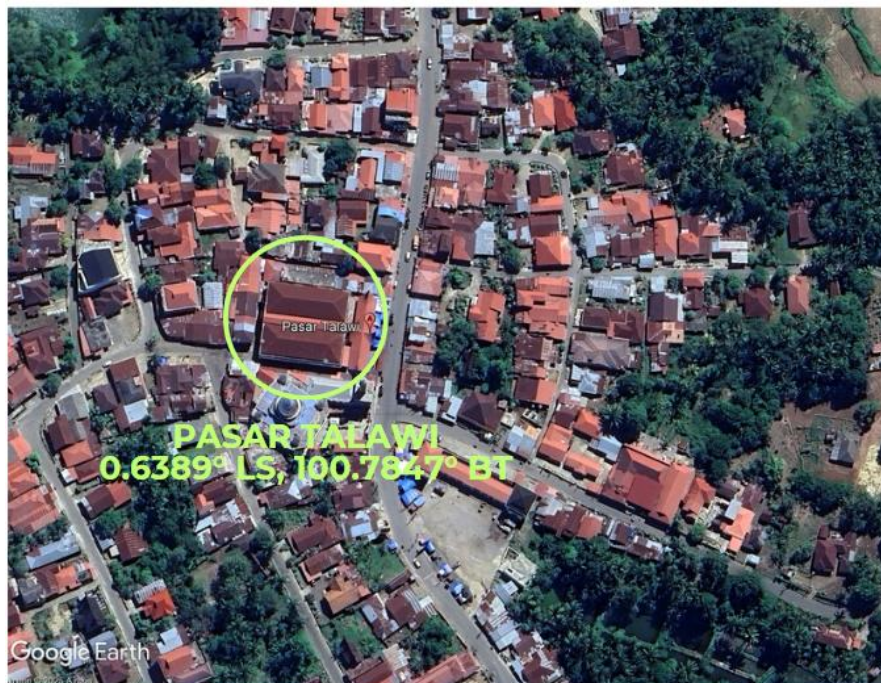
METODOLOGI

3.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan meliputi studi literatur, pengumpulan data sekunder, penyebaran kuesioner, menganalisis data kuesioner, dan perhitungan batas asupan maksimal. Diagram alir metodologi dapat dilihat pada **Gambar 3.2**.

3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan mulai bulan Maret 2025 hingga Agustus 2025. Pengambilan data sekunder dilakukan pada awal bulan Juni. Pengambilan sampel kuesioner serta analisis kuesioner dilakukan pada pertengahan Juli 2025 hingga awal bulan Juni 2025. Pengambilan kuesioner dilakukan 2 kali dalam rentang 1 minggu, dan sampel kuesioner yang diambil adalah konsumen ikan masai dari Sungai Batang Ombilin. Lokasi pengambilan sampel data kuesioner di Kota Sawahlunto, Sumatra Barat. Untuk titik koordinat Pasar Talwai dapat dilihat pada **Gambar 3.1**.

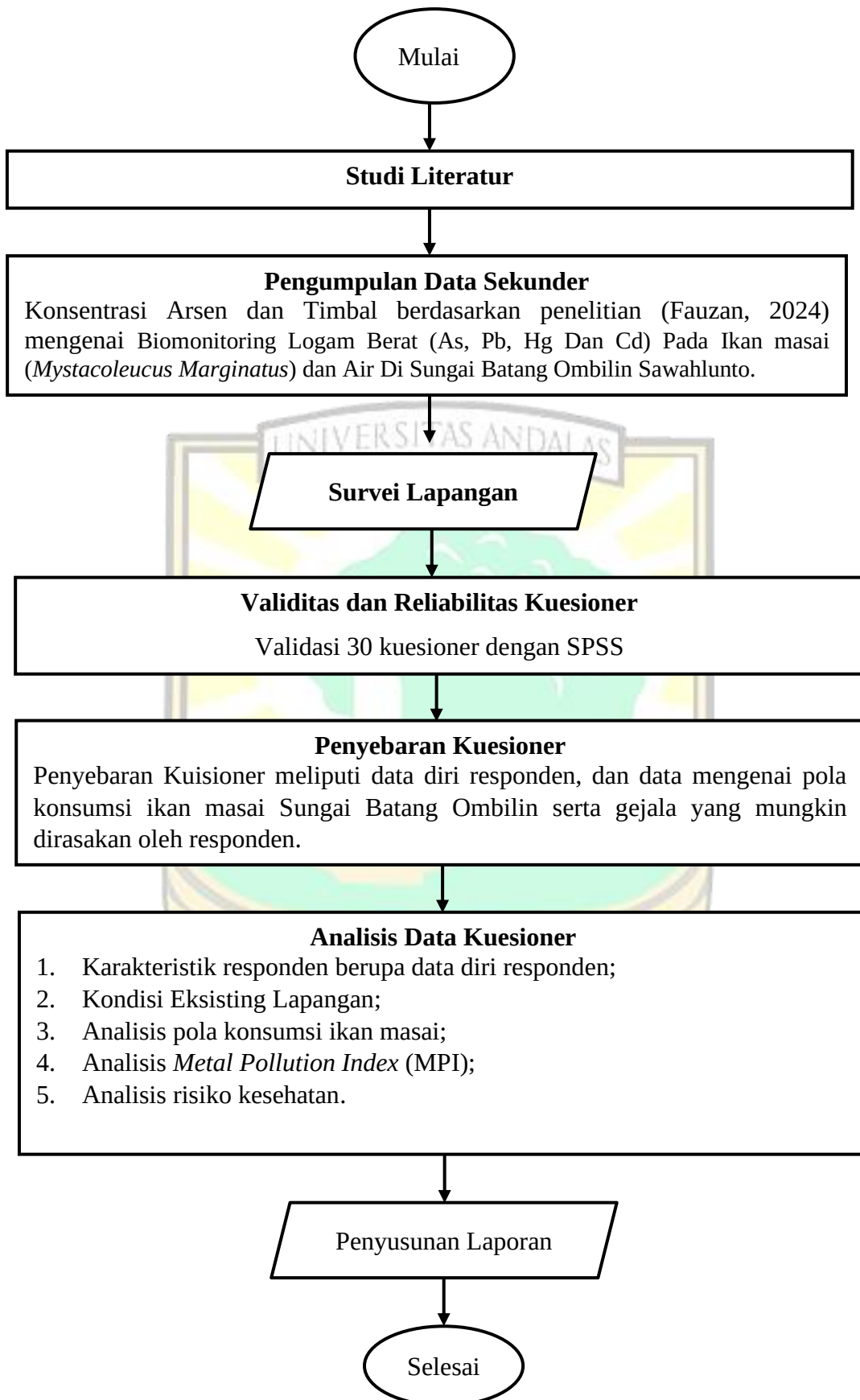


Gambar 3. 1 Lokasi Penyebaran Kuesioner

3.3 Studi Literatur

Studi literatur diperlukan sebelum pelaksanaan penelitian di lapangan. Studi literatur mencakup kegiatan pengumpulan sumber acuan sebagai bentuk dasar melakukan penelitian. Studi literatur berasal dari berbagai sumber seperti buku, jurnal dan laporan hasil penelitian terdahulu.





Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

3.4 Pengumpulan Data Sekunder

Dalam penelitian ini, data sekunder digunakan untuk mendalami konsentrasi logam berat timbal (Pb) dan arsenik (As) pada ikan masai (*Mystacoleucus marginatus*) yang terdapat di perairan Sungai Batang Ombilin. Data sekunder ini diambil dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Fauzan (2024), yang mengukur kadar logam berat dalam air dan organ ikan di berbagai lokasi sepanjang sungai tersebut. Penelitian Fauzan (2024) memberikan informasi yang sangat penting mengenai konsentrasi logam berat, serta potensi dampak kesehatan yang ditimbulkan oleh logam-logam tersebut pada masyarakat yang mengonsumsi ikan dari daerah tersebut. Dengan menggunakan data sekunder ini, penelitian ini bertujuan untuk memperdalam pemahaman tentang tingkat pencemaran yang terjadi di Sungai Batang Ombilin serta menghubungkannya dengan pola konsumsi ikan oleh masyarakat Kota Sawahlunto dan potensi risiko kesehatan yang mungkin timbul akibat konsumsi ikan yang terkontaminasi logam berat. **Tabel 3.1** merupakan tabel konsentrasi logam berat pada air dan **Tabel 3.2** merupakan tabel konsentrasi logam berat pada ikan.

Tabel 3. 1 Tabel Konsentrasi Logam Berat Pada Air

Logam Berat pada Air (mg/L)					
No.	Lokasi	Logam As	Logam Pb	Logam Hg	Logam Cd
1	Tambang Pasir & Emas	0,0745	0,0816	0,0634	0,0434
2	Pemukiman	0,0062	0,0176	0,0105	0,0152
3	PDAM	0,0054	0,0214	0,0111	0,0291
4	PLTU	0,0082	0,0201	0,0312	0,0145
5	Bekas Tambang Batubara	0,0053	0,0312	0,0212	0,0176

Sumber: Fauzan (2024)

Tabel 3. 2 Tabel Konsentrasi Logam Berat Pada Ikan

Lokasi	Logam	Baku Mutu*	Konsentrasi Logam (mg/kg)	Standar deviasi (mg/kg)
Tambang Pasir & Emas	As Kepala	0,25	0,059	0,028
	As Isi Perut		0,101	0,047
	As Daging		0,011	0,005
	Pb Kepala	0,20	0,075	0,024
	Pb Isi Perut		0,123	0,009
	Pb Daging		0,014	0,003
	Hg Kepala	0,5	0,033	0,010
	Hg Isi Perut		0,075	0,008

Lokasi	Logam	Baku Mutu*	Konsentrasi Logam (mg/kg)	Standar deviasi (mg/kg)
Pemukiman	Hg Daging	0,1	0,007	0,002
	Cd Kepala		0,033	0,038
	Cd Isi Perut		0,039	0,027
	Cd Daging		0,003	0,001
	As Kepala	0,25	0,075	0,039
	As Isi Perut		0,176	0,107
	As Daging		0,016	0,007
	Pb Kepala		0,081	0,037
	Pb Isi Perut	0,20	0,244	0,124
	Pb Daging		0,022	0,004
	Hg Kepala		0,115	0,039
	Hg Isi Perut		0,493	0,372
	Hg Daging	0,1	0,029	0,005
	Cd Kepala		0,095	0,011
	Cd Isi Perut		0,424	0,309
	Cd Daging		0,023	0,008
PDAM	As Kepala	0,25	0,042	0,020
	As Isi Perut		0,118	0,087
	As Daging		0,009	0,001
	Pb Kepala		0,021	0,010
	Pb Isi Perut	0,20	0,047	0,018
	Pb Daging		0,003	0,001
	Hg Kepala		0,058	0,031
	Hg Isi Perut		0,116	0,063
	Hg Daging	0,1	0,017	0,002
	Cd Kepala		0,017	0,002
	Cd Isi Perut		0,073	0,017
	Cd Daging		0,006	0,005
	As Kepala	0,25	0,056	0,029
	As Isi Perut		0,172	0,027
	As Daging		0,013	0,005
	Pb Kepala		0,037	0,010
PLTU	Pb Isi Perut	0,20	0,205	0,075
	Pb Daging		0,014	0,002
	Hg Kepala		0,100	0,021
	Hg Isi Perut		0,266	0,073
	Hg Daging	0,5	0,027	0,006
	Cd Kepala		0,103	0,008
	Cd Isi Perut		0,323	0,124
	Cd Daging		0,021	0,008
	As Kepala	0,25	0,024	0,023

Lokasi	Logam	Baku Mutu*	Konsentrasi Logam (mg/kg)	Standar deviasi (mg/kg)
Bekas Tambang Batubara	As Isi Perut	0,20	0,019	0,010
	As Daging		0,002	0,001
	Pb Kepala		0,046	0,025
	Pb Isi Perut		0,242	0,357
	Pb Daging	0,5	0,004	0,002
	Hg Kepala		0,016	0,008
	Hg Isi Perut		0,019	0,010
	Hg Daging		0,002	0,001
	Cd Kepala	0,1	0,071	0,030
	Cd Isi Perut		0,092	0,010
	Cd Daging		0,014	0,003

Sumber: Fauzan (2024)

3.5 Survei Lapangan

Survei lapangan diperlukan untuk menentukan jumlah responden dan pengamatan lapangan lokasi penangkapan dan pemancingan ikan masai, serta memperkirakan waktu yang dibutuhkan untuk pengambilan dan penyebaran kuesioner kepada Masyarakat dipanjang Sungai Batang Ombilin dan Pasar di Kota Sawahlunto. Deskripsi lokasi penangkapan dan pemancingan ikan masai dan penyebaran kuisoner yang dilakukan beserta titik koordinat dan keterangan lokasi dapat dilihat pada **Tabel 3.3**.

Tabel 3. 3 Deskripsi Lokasi Penyebaran Kuisoner

Lokasi	Titik Koordinat	Gambaran Lokasi
Pasar Talawi	-0.6389° LS, 100.7847° BT	- Berlokasi di Kecamatan Talawi, sekitar 10 km dari pusat kota Sawahlunto
		- Berdasarkan hasil diskusi dengan Dinas Lingkungan Hidup Kota Sawahlunto mengarahkan dipilih Pasar Talawi sebagai lokasi penyebaran kuesioner dikarenakan Pasar Talawi menjadi satu satunya lokasi penjualan Ikan masai

Sumber: Analisis Peneliti (2025)

3.6 Uji Validitas dan Reliabilitas

Uji validitas adalah uji yang digunakan untuk melihat apakah suatu alat ukur tersebut valid (sahih) atau tidak valid. Alat ukur yang dimaksud adalah pertanyaan-pertanyaan yang ada dalam kuesioner. Suatu kuesioner dikatakan valid jika pertanyaan tersebut dalam kuesioner dapat mengungkapkan sesuatu yang diukur oleh kuesioner. Kriteria pengujiannya adalah apabila nilai r hitung $>$ r tabel maka

instrumen tersebut dinyatakan valid. Namun, jika $r_{hitung} < r_{tabel}$ maka instrumen tidak valid.

Reliabilitas adalah indeks yang menunjukkan sejauh mana suatu alat pengukur dapat dipercaya atau diandalkan. Uji reliabilitas dapat digunakan untuk mengetahui konsistensi alat ukur jika pengukuran tersebut diulang. Menurut Sugiyono, suatu instrumen dinyatakan reliabel jika koefisien reliabilitas minimal 0,6. Jika instrumen alat ukur memiliki nilai Cronbach alpha $< 0,6$, maka alat ukur tersebut tidak reliabel. Hasil uji validitas kuesioner pengetahuan pada tingkat signifikan 5% diperoleh nilai $r_{hitung} > r_{tabel}$ (0,361) dan nilai *cronbach's alpha* 0,649. Berdasarkan perhitungan tersebut, dari 9 pertanyaan, diperoleh 9 pertanyaan dinyatakan valid dan reliabel.

3.7 Penyebaran Kuesioner

Pengumpulan data analisis risiko kesehatan lingkungan dilakukan dengan cara pembagian kuesioner kepada masyarakat sekitar Pasar Talawi dengan tujuan untuk menganalisis dampak kesehatan akibat dari konsumsi ikan masai Sungai Batang Ombilin. Data yang ditanyakan dalam kuesioner yaitu berupa nama responden, usia responden, jenis kelamin, pekerjaan, alamat, berat badan, jumlah konsumsi daging ikan dalam sehari (gr/hari), jumlah hari konsumsi ikan dalam setahun (hari/tahun) dan lama waktu kontak responden dengan pajanan (tahun). Data-data yang didapatkan dari kuesioner tersebut kemudian dianalisis menggunakan aplikasi Microsoft Excell dan SPSS.

Responden terdiri dari masyarakat sekitar Sungai Batang Ombilin dengan kriteria yaitu mengkonsumsi daging ikan masai dari Sungai Batang Ombilin.

$$n = \frac{N}{N(d)2} + 1 \dots \dots \dots (3.1)$$

Ada 10 nagari yang dilalui oleh Sungai Batang Ombilin, Berdasarkan ata BPS tahun 2024 menyatakan jumlah penduduk dapat dilihat pada **tabel 3.4** dibawah

Tabel 3. 4 Jumlah Penduduk

Kecamatan	Nagari	Jumlah Penduduk
Kecamatan Talawi	Talawi Mudiak	3243
	Talawi Hilie	4407
	Sijantang Koto	1348
	Salak	1493
	Rantih	709
Kecamatan Barangin	Kolok Nan Tuo	1414
Kecamatan Silungkang	Silungkang Duo	1492
	Silungkang Oso	1648
	Silungkang Tigo	2200
	Muaro Kalaban	5811
Total		23765

Sumber: Badan Pusat Statistik (2025)

Total jumlah penduduk yaitu 23.765 jiwa (N), dengan menggunakan tingkat kesalahan 10% (d), menggunakan rumus Slovin di atas didapatkan jumlah responden adalah 100 orang (n).

3.8 Analisis Kuesioner

Data-data kuesioner meliputi data diri dan data mengenai konsumsi ikan masai di Sungai Batang Ombilin. Data yang didapatkan dari kuesioner tentang analisis risiko ini yaitu mengenai data diri responden berupa nama, usia, berat badan status perkawinan, pekerjaan, pola konsumsi ikan masai dan data kesehatan responden. Selanjutnya data-data tersebut selanjutnya dianalisis dan dijabarkan secara deskriptif. Data-data yang berupa angka dianalisis menggunakan aplikasi *Microsoft Excel*. Data analisis kuesioner dibagi menjadi dua kategori yang dibagi berdasarkan nilai mean karena data yang terdistribusi normal. Nilai rata-rata, nilai tertinggi dan terendah juga ditampilkan sebagai pembandingan. Data kesehatan masyarakat juga didapatkan dari kuesioner mengenai gejala-gejala yang mungkin dirasakan oleh responden. Data yang didapatkan selanjutnya digunakan dalam analisis risiko.

3.8.1 Karakteristik Responden

Analisis kuesioner dalam penelitian ini mencakup pengumpulan data yang meliputi data pribadi responden dan informasi mengenai pola konsumsi ikan masai (*Mystacoleucus marginatus*) oleh masyarakat di Kota Sawahlunto. Kuesioner ini dirancang untuk mendapatkan data mengenai usia, jenis kelamin, pekerjaan, status perkawinan, berat badan, serta pola konsumsi ikan masai, termasuk frekuensi konsumsi dan jumlah konsumsi harian ikan tersebut. Data yang terkumpul

kemudian dianalisis secara deskriptif menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel dan SPSS untuk memberikan gambaran mengenai karakteristik responden serta pola konsumsi ikan masai.

3.8.2 Analisis Pola Konsumsi Ikan masai

Analisis dilakukan untuk memahami pola konsumsi ikan masai oleh masyarakat Kota Sawahlunto, dengan menggunakan metode *Food Frequency Questionnaire* (FFQ) adalah salah satu pendekatan kuesioner yang digunakan untuk menilai pola konsumsi makanan individu dalam jangka waktu tertentu, biasanya satu bulan atau satu tahun terakhir. Dalam metode ini, responden diminta untuk melaporkan seberapa sering mereka mengonsumsi berbagai jenis makanan dan minuman dari daftar yang telah disusun sebelumnya. Berikut adalah contoh tabel dalam FFQ yang digunakan (Fikadu dkk., 2024)

Tabel 3. 5 Food Frequency Questionnaire (FFQ)

No	Nama	Satu bulan (kali)	Satu Tahun (kali)	Konsumsi 1 kali makan (gr)	Konsumsi Ikan Masai 1 Tahun (gr)	Rata-Rata Konsumsi satu hari (gr)	Bagian yang dimakan

Sumber: Fikadu dkk (2024)

Nilai frekuensi tersebut dikalikan dengan takaran porsi rata-rata (gram) dari setiap jenis makanan yang dilaporkan, sehingga diperoleh perkiraan konsumsi harian rata-rata (g/hari)

3.8.3 Analisis Metal Pollution Index (MPI)

Analisis *Metal Pollution Index* (MPI) bertujuan untuk menilai tingkat pencemaran logam berat pada sampel ikan. MPI merupakan metode paling sederhana yang memungkinkan penyajian semua konsentrasi logam berat yang terukur dalam satu nilai tunggal. Rumus umum yang digunakan adalah (J. Usero dkk., 1997):

$$MPI = (CM1 \times CM2 \times \dots \times CMn)^{1/n} \dots\dots\dots(3.4)$$

Keterangan:

MPI = Indeks Pencemaran Logam.

CM = Konsentrasi logam yang terdapat pada ikan

n = Jumlah logam berat yang dianalisis.

- $MPI < 1$: dianggap tidak tercemar atau sangat sedikit tercemar oleh logam berat.
- $MPI = 1$: menunjukkan tingkat pencemaran sedang, menunjukkan adanya konsentrasi logam berat yang mulai menunjukkan dampak.
- $MPI > 1$: menunjukkan tingkat pencemaran yang tinggi oleh logam berat, dengan dampak potensial yang lebih besar terhadap ekosistem.

3.8.5 Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL)

Analisis dan pembahasan hasil uji kandungan formalin pada ikan dilakukan dengan menggunakan metode ARKL yang mengacu pada Pedoman ARKL Dirjen PP dan PL kemenkes tahun 2012. Terdapat 4 langkah ARKL meliputi (Dirjen P2PL, 2012):

a. Identifikasi bahaya (*hazard identification*)

Identifikasi bahaya merupakan langkah pertama dalam ARKL yang kesehatan bila tubuhterpajan. Sebagai pelengkap dalam identifikasi bahaya dapat ditambahkan gejala – gejalagangguan kesehatan apa yang terkait erat dengan agen risiko yang akan dianalisis. Tahapan ini harus menjawab pertanyaan agen risiko spesifik apa yang berbahaya, di media lingkungan yang mana agen risiko eksisting, seberapa besar kandungan/konsentrasi agen risiko di medialingkungan, gejala kesehatan apa yang potensial.

b. Analisis dosis-respon (*Dose-Respon Assessment*)

Tahap selanjutnya adalah melakukan analisis dosis- respons yaitu mencari nilai RfD, dan/atau RfC, dan/atau SF dari agen risiko, serta memahami efek apa saja yang mungkin ditimbulkan oleh agen risiko tersebut pada tubuh manusia. Nilai RfD dan RfC ialah nilai yang dijadikan referensi untuk nilai aman pada efek non karsinogenik suatu agen risiko sedangkan SF ialah referensi untuk nilai yang aman pada efek karsinogenik.

c. Analisis pajanan (*exposure assessment*)

Setelah melakukan langkah 1 dan 2, selanjutnya dilakukan Analisis pajanan yaitu dengan mengukur atau menghitung intake / asupan dari agen risiko. Untuk menghitung intake terdapat rumus atau **persamaan (2.1)**

d. Karakterisasi risiko (*risk characterization*)

Langkah ARKL yang terakhir adalah karakterisasi risiko yang dilakukan untuk

menetapkan tingkat risiko yang menimbulkan gangguan kesehatan pada masyarakat. Karakterisasi risiko dilakukan dengan membandingkan intake dengan dosis agen tersebut. Nilai RQ pada pemajanan jalur oral dapat dihitung dengan **persamaan (2.2)** (Dirjen P2PL, 2012):

Tingkat risiko dapat dikatakan aman apabila nilai intake $\leq$ RfD atau RfC atau dinyatakan dengan $RQ \leq 1$. Tingkat risiko dapat dikatakan tidak aman apabila nilai intake $\geq$ RfD atau RfC atau dinyatakan dengan $RQ > 1$.

Perhitungan konsentasi aman dan laju asupan aman dapat dihitung penggunaan persamaan **(2.4) dan persamaan (2.5)**

Setelah selesai keempat langkah tersebut sesuai bagan alir ARKL langkah selanjutnya yaitu pengelolaan risiko dan komunikasi risiko.

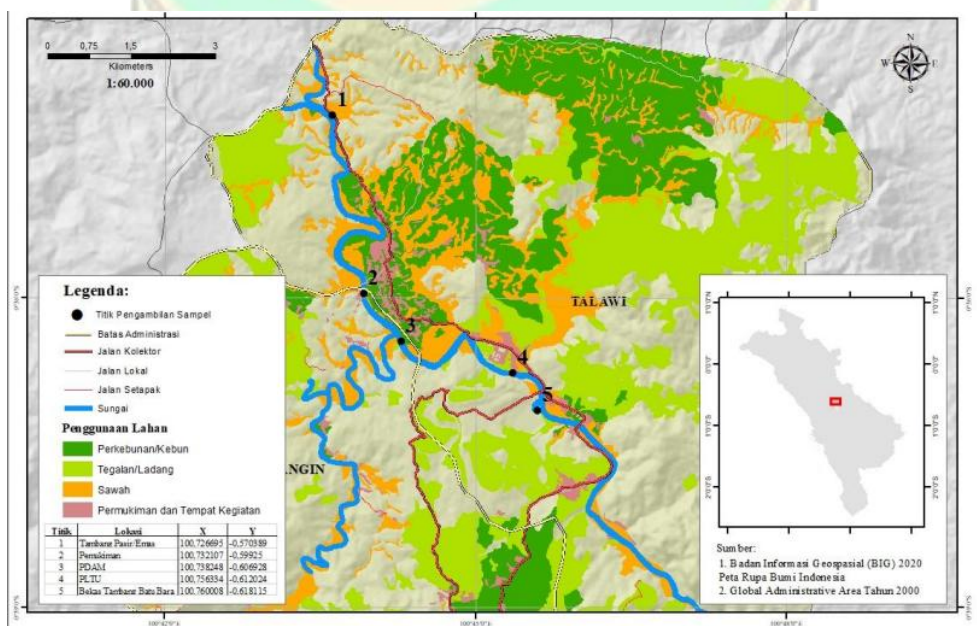
- a) Pengelolaan Risiko Adapun pengelolaan risiko yang dapat dilakukan ialah sebagai berikut (Dirjen P2PL, 2012):
 1. Pendekatan teknologi seperti penggunaan alat, bahan dan metode, serta teknik tertentu.
 2. Pendekatan sosial-ekonomis dengan melibatkan pihak-pihak lain, efisiensi proses, substitusi, dan penerapan sistem kompensasi.
 3. Pendekatan institusional dengan menempuh jalur dan mekanisme kelembagaan dengan cara melakukan kerjasama dengan pihak lain.
- b) Komunikasi Risiko Komunikasi risiko bertujuan untuk menyampaikan informasi risiko kepada masyarakat atau populasi yang berisiko, pemerintah, atau pihak berkepentingan lainnya. Langkah ini ialah tindak lanjut dari pelaksanaan ARKL dan tanggung jawab pihak yang menimbulkan risiko kesehatan. Penyampaian dapat dilakukan melalui ceramah, media massa, ataupun penyajian dalam format pemetaan (Dirjen P2PL, 2012).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis pola konsumsi ikan masai (*Mystacoleucus marginatus*) oleh masyarakat Kota Sawahlunto serta menilai potensi risiko kesehatan lingkungan akibat paparan logam berat, khususnya timbal (Pb) dan arsenik (As), melalui konsumsi ikan tersebut. Kota Sawahlunto dipilih sebagai lokasi penelitian karena dilalui oleh Sungai Batang Ombilin yang telah terindikasi tercemar oleh aktivitas antropogenik, termasuk penambangan dan aktivitas domestik. Ikan masai yang hidup di perairan tersebut merupakan salah satu sumber pangan lokal yang dikonsumsi masyarakat secara luas dan memiliki potensi sebagai bioindikator pencemaran logam berat di lingkungan perairan. Lokasi pengambilan sampel pada penelitian ini yaitu di Sungai Batang Ombilin, Sawahlunto. Lokasi pengambilan sampel ini ditentukan berdasarkan aktivitas masyarakat yaitu penambangan pasir, danau bekas lahan tambang, PLTU, lahan pemukiman masyarakat, dan PDAM berdasarkan penelitian terdahulu. Dapat dilihat pada **Gambar 4.1**



Gambar 4. 1 Lokasi Titik Pengambilan Ikan Masai

Penelitian ini menggabungkan pendekatan kuantitatif dengan metode observasional. Data primer diperoleh melalui penyebaran kuesioner kepada 100 responden yang merupakan konsumen ikan masai di sekitar Pasar Talawi dan wilayah sepanjang Sungai Batang Ombilin. Kuesioner dirancang untuk menggali informasi terkait karakteristik responden, kebiasaan konsumsi ikan masai, serta gejala kesehatan yang mungkin terkait dengan pajanan logam berat. Sedangkan data sekunder diperoleh dari hasil penelitian sebelumnya (Fauzan, 2024) yang menyediakan informasi mengenai konsentrasi logam Pb dan As dalam air sungai serta jaringan tubuh ikan masai.

Hasil dari pengumpulan data ini kemudian dianalisis menggunakan metode analisis risiko kesehatan lingkungan (ARKL) yang meliputi perhitungan risiko non-karsinogenik dengan *Risk Question* (RQ) dan risiko karsinogenik dengan perhitungan *Excess Cancer Risk* (ECR). Selain itu, penelitian ini juga mengevaluasi tingkat pencemaran melalui perhitungan *Metal Pollution Index* (MPI) untuk memberikan gambaran kuantitatif mengenai tingkat kontaminasi logam berat pada ikan.

4.2 Karakteristik Responden

4.2.1 Jenis Kelamin

Responden pada penelitian ini adalah konsumen ikan masai di Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto yang berjumlah 100 orang. Distribusi frekuensi responden berdasarkan jenis kelamin dapat dilihat pada **Tabel 4.1** berikut

Tabel 4. 1 Distribusi Frekuensi Jenis Kelamin Responden Konsumen Ikan Masai Kecamatan Talawi Kota Sawahlunto

Jenis Kelamin	f	%
Laki-laki	81	81
Perempuan	19	19
Total	100	100

Sumber: Analisis Penulis

Berdasarkan tabel yang disajikan, data karakteristik responden di Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto, menunjukkan distribusi jenis kelamin responden yang terdiri dari dua kategori, yaitu laki-laki dan perempuan. Dari total 100 responden,

sebanyak 81 orang atau 81% di antaranya adalah laki-laki, sedangkan 19 orang atau 19% adalah perempuan. Hal ini menunjukkan bahwa mayoritas responden di Kecamatan Talawi didominasi oleh laki-laki. Tabel ini menggambarkan proporsi jenis kelamin yang cukup jelas, dengan persentase yang lebih besar pada kategori laki-laki dibandingkan perempuan.

4.2.2 Umur

Responden dibagi ke dalam tiga kategori umur, yaitu remaja, dewasa, dan lanjut usia. Kategori usia tersebut menggambarkan distribusi umur berdasarkan Kementerian Kesehatan yang mengelompokkan individu ke dalam rentang usia tertentu. Dengan jumlah total responden yang seimbang, distribusi ini memberikan gambaran yang representatif mengenai berbagai kelompok umur yang ada di Kecamatan Talawi. Data distribusi frekuensi umur responden dapat dilihat pada **Tabel 4.2** dibawah ini

Tabel 4. 2 Distribusi Frekuensi Umur Responden Konsumen Ikan Masai Kecamatan Talawi Kota Sawahlunto

Kategori	Usia Responden	f	%
Remaja	10-18	13	13
Dewasa	18-59	73	73
Lanjut Usia	>60	14	14
Total		100	100

Sumber: Analisis Penulis

Dalam tabel ini, kategori dewasa menjadi kelompok yang paling dominan, dengan 73 responden atau 73% dari total jumlah responden yang berusia antara 18 hingga 59 tahun. Sementara itu, kategori lanjut usia, yaitu responden yang berusia di atas 60 tahun, mencakup 14 responden atau 14%. Kategori remaja, dengan rentang usia 10-18 tahun, memiliki jumlah responden paling sedikit, yaitu 13 orang atau 13%. Data ini menunjukkan bahwa mayoritas responden di Kecamatan Talawi adalah individu dewasa, sementara jumlah remaja dan lanjut usia relatif lebih kecil.

4.2.3 Status Perkawinan

Tabel berikut menunjukkan data mengenai status perkawinan responden di Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto. Tabel ini membagi responden berdasarkan

status perkawinan mereka, yaitu sudah menikah dan lajang. Dari total 100 responden, status perkawinan menjadi indikator penting untuk melihat distribusi demografis yang dapat mempengaruhi hasil penelitian. Data distribusi frekuensi status pernikahan responden dapat dilihat pada **Tabel 4.3** dibawah ini

Tabel 4. 3 Distribusi Frekuensi Status Perkawinan Responden Konsumen Ikan Masai Kecamatan Talawi Kota Sawahlunto

Status Perkawinan	f	%
Sudah Menikah	82	82
Lajang	16	16
Total	100	100

Sumber: Analisis Penulis

Dalam tabel ini, 82 responden atau 82% tercatat sudah menikah, sementara 16 responden atau 16% sisanya berstatus lajang. Hal ini menunjukkan bahwa mayoritas responden di Kecamatan Talawi sudah menikah, dengan jumlah yang jauh lebih besar dibandingkan yang berstatus lajang. Data ini memberikan gambaran tentang komposisi sosial responden dalam konteks status perkawinan yang dapat memberikan informasi lebih lanjut mengenai karakteristik masyarakat di wilayah tersebut.

4.2.4 Berat Badan

Tabel berikut menunjukkan distribusi frekuensi berat badan responden yang merupakan konsumen ikan masai di Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto. Tabel ini membagi responden berdasarkan kategori berat badan lebih dari 55 kg dan kurang dari 55 kg dengan pertimbangan 55 kg merupakan nilai *default* untuk pria dewasa Asia berdasarkan metode ARKL. Data ini memberikan gambaran mengenai proporsi konsumen ikan masai berdasarkan kategori berat badan. Data distribusi frekuensi berat badan responden dapat dilihat pada **Tabel 4.4** dibawah ini

Tabel 4. 4 Distribusi Frekuensi Berat Badan Responden Konsumen Ikan Masai Kecamatan Talawi Kota Sawahlunto

Berat Badan (Kg)	f	%
>55	84	84
<55	16	16

Total	100	100
-------	-----	-----

Sumber: Analisis Penulis

Dalam tabel ini, sebanyak 84 responden atau 84% memiliki berat badan lebih dari 55 kg, sementara hanya 16 responden atau 16% yang memiliki berat badan kurang dari 55 kg. Hal ini menunjukkan bahwa mayoritas konsumen ikan masai di Kecamatan Talawi memiliki berat badan di atas 55 kg. Data ini memberikan wawasan tentang karakteristik fisik responden, yang dapat bermanfaat dalam analisis lebih lanjut mengenai hubungan antara berat badan dan pola konsumsi ikan masai.

4.2.5 Pendidikan

Tabel berikut menunjukkan distribusi frekuensi pendidikan responden yang merupakan konsumen ikan masai di Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto. Tabel ini mengkategorikan tingkat pendidikan responden mulai dari Taman Kanak-Kanak (TK) hingga Perguruan Tinggi. Data ini memberikan gambaran mengenai latar belakang pendidikan responden yang dapat memberikan wawasan lebih lanjut terkait hubungan antara tingkat pendidikan dan pola konsumsi ikan masai. Data distribusi frekuensi pendidikan responden dapat dilihat pada **Tabel 4.5** dibawah ini

Tabel 4. 5 Distribusi Frekuensi Pendidikan Responden Konsumen Ikan Masai Kecamatan Talawi Kota Sawahlunto

Pendidikan	f	%
TK	3	3
SD/Sederajat	52	52
SMP/Sederajat	33	33
SMA/Sederajat	9	9
Perguruan Tinggi	3	3
Total	100	100

Sumber: Analisis Penulis

Dalam tabel ini, mayoritas responden, yaitu 52 orang atau 52%, memiliki tingkat pendidikan SD/Sederajat. Sementara itu, 33 orang atau 33% responden memiliki pendidikan SMP/Sederajat. Hanya 9 orang (9%) yang memiliki pendidikan SMA/Sederajat, dan 3 orang (3%) memiliki pendidikan terakhir di Perguruan

Tinggi. Kategori pendidikan TK juga tercatat dengan 3 responden (3%). Data ini menunjukkan bahwa sebagian besar responden memiliki tingkat pendidikan dasar hingga menengah, dengan sedikit yang melanjutkan ke pendidikan tinggi.

4.2.6 Pekerjaan

Tabel berikut menunjukkan distribusi frekuensi pekerjaan responden yang merupakan konsumen ikan masai di Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto. Tabel ini mengkategorikan pekerjaan responden berdasarkan data yang diperoleh dari BPS Kota Sawahlunto yang mana merupakan pekerjaan umum dari masyarakat di Kota Sawahlunto. Data distribusi frekuensi pekerjaan responden dapat dilihat pada **Tabel 4.6** dibawah ini

**Tabel 4. 6 Distribusi Frekuensi Pekerjaan Responden Konsumen Ikan Masai
Kecamatan Talawi Kota Sawahlunto**

Pekerjaan	f	%
Petani	11	11
Pedagang	14	14
ASN	17	17
TNI/Polri	7	7
Buruh	36	36
Lainnya	15	15
Total	100	100

Sumber: Analisis Penulis

Dalam tabel ini, mayoritas responden, yaitu 36 orang atau 36%, bekerja sebagai buruh. Sementara itu, 17 orang atau 17% adalah Aparatur Sipil Negara (ASN), dan 14 orang atau 14% bekerja sebagai pedagang. Sebanyak 11 orang atau 11% responden memiliki pekerjaan sebagai petani, dan 7 orang atau 7% berprofesi sebagai TNI/Polri. Sebagian kecil, yaitu 15 orang (15%), bekerja dalam kategori lainnya. Data ini menunjukkan bahwa mayoritas responden bekerja sebagai buruh, diikuti oleh ASN dan pedagang. Pekerjaan lain yang lebih spesifik, seperti petani dan TNI/Polri, memiliki persentase yang lebih rendah. Tabel dibawah merupakan **Tabel 4.7** yang menunjukkan pengetahuan responden terhadap logam berat yang ada pada ikan masai.

Tabel 4. 7 Pengetahuan Responden Terhadap Kontaminasi Logam berat

No.	Pertanyaan	Pengetahuan Responden				
		Sangat Tahu	Tahu	Tahu Sedikit	Tahu Tidak Peduli	Tidak Tahu
1	Apakah Anda mengetahui bahwa ikan dapat terkontaminasi dengan logam berat seperti timbal (Pb) dan arsenik (As)?	3	8	8	8	73
2	Jika Anda tahu, apakah Anda pernah mendengar tentang dampak kesehatan dari konsumsi ikan yang terkontaminasi timbal (Pb) atau arsenik (As)?	4	7	16	5	68
3	Apakah Anda pernah mendengar atau membaca tentang kontaminasi logam berat di Sungai Batang Ombilin yang dapat mempengaruhi ikan masai?	4	14	9	5	68
4	Sejauh mana Anda mengetahui tentang dampak logam berat pada ikan yang dikonsumsi?	3	15	20	16	46

Sumber: Analisis Penulis

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa kesadaran masyarakat terhadap bahaya kontaminasi logam berat dalam ikan masih minim, namun terdapat tanda awal meningkatnya pengetahuan pada sebagian kecil responden sehingga diperlukan upaya sosialisasi dan edukasi yang lebih intensif.

4.3 Kondisi Eksisting Di Lapangan

Sungai Batang Ombilin mengalir melalui Pulau Sumatera dan memasuki wilayah Kabupaten Sijunjung setelah berkonfluensi dengan Sungai Batang Sinama. Aliran ini kemudian berlanjut ke Provinsi Riau, di mana namanya berubah menjadi Batang Kuantan saat melintasi Kabupaten Kuantan Singingi dan Kabupaten Indragiri Hulu. Muara sungai ini terletak di pesisir timur Sumatera, tepatnya di Selat Malaka (Putri & Afdal, 2017). Di daerah muara, sungai ini juga disebut Batang Indragiri atau Sungai Indragiri, yang berada di Kabupaten Indragiri Hilir (Rahman dkk., 2020).

Kondisi iklim di sekitar sungai ini didominasi oleh hutan hujan tropis, khususnya di bagian tengah Sumatera. Berdasarkan data dari DPKP2LH Kota Sawahlunto (2020), Sungai Ombilin memiliki kedalaman 5 meter dengan panjang mencapai

12.750 km.

Ikan masai atau Genggehek (*Mystacoleucus marginatus*) adalah spesies ikan air tawar dari famili Cyprinidae (Lancôt dkk., 2016). Ukurannya relatif kecil hingga sedang, dengan panjang maksimal sekitar 200 mm. Ciri morfologisnya meliputi 26-29 garis horizontal pada tubuh, empat sungut pendek di hidung, serta proporsi tubuh tertentu seperti tinggi awal sisik punggung sekitar 2,7 kali panjang standar (tanpa ekor). Panjang kepala berkisar 4,1–4,2 kali panjang standar, sedangkan awal sirip punggung sejajar dengan sisik garis paralel kesembilan atau kesepuluh, terletak di belakang sisik panggul, dan dipisahkan dari mahkota oleh 9–10 sisik (Maduwu, 2019).

Kondisi Eksisting Saat Pengambilan Responden (8-11 Juli 2025): Pada saat pengumpulan data, kondisi lapangan tidak ideal karena populasi ikan masai mengalami penurunan signifikan akibat dua bencana banjir bandang—pertama pada 5 April 2024 dan kedua pada 11 Mei 2024 di Tanah Datar. Peristiwa ini menyebabkan rusaknya habitat ikan, termasuk ikan masai dan spesies lain di sepanjang Sungai Batang Ombilin Sawahlunto, sehingga keberadaannya sangat sulit ditemukan.

Dampaknya, konsumsi ikan masai oleh masyarakat sekitar menurun drastis. Selama pengambilan data, banyak responden mengaku sudah jarang mengonsumsi ikan ini, bahkan sebagian hanya memakannya sekali dalam setahun akibat kelangkaan. Hal ini memengaruhi hasil penelitian karena keterbatasan data responden yang masih aktif mengonsumsi Ikan masai pascabencana.

4.4 Analisis Pola Konsumsi Ikan masai

Pola konsumsi ikan masai (*Mystacoleucus marginatus*) di masyarakat Kota Sawahlunto menunjukkan bahwa ikan ini merupakan komoditas yang cukup penting dalam kehidupan sehari-hari. Berdasarkan data yang ada, konsumsi ikan masai terjadi secara rutin dengan rata-rata sebanyak 2 kali dalam sebulan, yang berarti ikan ini dikonsumsi dengan frekuensi yang cukup tinggi. Konsumsi tahunan mencatatkan angka 24 kali, yang mencerminkan tingginya peran ikan ini sebagai salah satu sumber protein dalam pola makan masyarakat setempat. Kebanyakan masyarakat mengonsumsi ikan masai dalam porsi 60 hingga 100 gram per kali

makan, dengan rata-rata konsumsi per hari mencapai 5,362 gram. Hal ini menunjukkan bahwa ikan masai dikonsumsi dalam porsi yang sedang, baik sebagai hidangan utama maupun sebagai pelengkap.

Sebanyak 72 orang mengonsumsi hanya daging ikan, sedangkan 28 orang lainnya mengonsumsi semua bagian ikan. Total jumlah responden yang disurvei sebanyak 100 orang, yang mengindikasikan bahwa mayoritas konsumen memilih untuk mengonsumsi daging ikan saja. Secara keseluruhan, lebih banyak konsumen yang memilih untuk mengonsumsi bagian daging ikan dibandingkan dengan mereka yang memilih mengonsumsi semua bagian ikan. Hal ini mungkin terkait dengan preferensi konsumsi yang lebih umum atau kesadaran terhadap bagian ikan mana yang lebih aman atau lebih enak untuk dimakan.

4.5 Analisis *Metal Pollution Index* (MPI)

Metal Pollution Index (MPI) digunakan untuk menilai tingkat pencemaran sedimen oleh logam berat dengan menggabungkan konsentrasi beberapa logam berat dalam satu nilai komposit, data MPI bisa dilihat pada **Tabel 4.7**

Tabel 4. 8 Analisis *Metal Pollution Index* (MPI)

Lokasi	Konsentrasi (mg/kg)				MPI
	As	Pb	Hg	Cd	
Tambang Pasir Dan Emas	0.17	0.21	0.12	0.08	0.1
Pemukiman	0.27	0.35	0.64	0.64	0.4
PDAM	0.17	0.07	0.19	0.10	0.1
PLTU	0.24	0.26	0.39	0.45	0.3
Bekas Tambang Batubara	0.04	0.29	0.04	0.18	0.1

Sumber: Analisis Penulis

Berdasarkan **Tabel 4.7**, MPI tertinggi ditemukan di lokasi Pemukiman sebesar 0.4, diikuti PLTU sebesar 0.3. Nilai tinggi ini menunjukkan adanya potensi pencemaran logam berat yang signifikan, terutama karena aktivitas domestik dan industri. Sebaliknya, lokasi Tambang Pasir dan Emas, PDAM, dan Bekas Tambang Batubara menunjukkan nilai MPI lebih rendah, yaitu 0.1, yang mengindikasikan tingkat pencemaran logam berat yang relatif kecil. Unsur logam yang paling dominan di lokasi Pemukiman adalah Hg dan Cd (masing-masing 0.64 mg/L), yang berkontribusi besar terhadap tingginya nilai MPI. Sedangkan pada lokasi PDAM, meskipun nilai MPI rendah, terdapat kandungan Hg sebesar 0.19 mg/L, yang tetap

perlu diawasi karena bersifat toksik. Secara keseluruhan, nilai MPI memberikan gambaran awal tentang potensi pencemaran logam berat di berbagai lokasi, dan dapat menjadi dasar dalam pengambilan kebijakan pengelolaan lingkungan.

4.6 Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL)

4.6.1 Identifikasi Bahaya (*Hazard-Identification*)

Identifikasi bahaya merupakan langkah pertama dalam Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) yang bertujuan untuk mengenali agen-agen yang dapat menimbulkan dampak merugikan terhadap kesehatan manusia. Dalam penelitian ini, agen bahaya yang diidentifikasi adalah logam berat Pb dan As yang terdeteksi dalam ikan masai (*Mystacoleucus marginatus*) yang diperoleh dari perairan Sungai Batang Ombilin. Kedua logam ini dipilih karena merupakan kontaminan yang sering ditemukan di lingkungan yang terpengaruh oleh aktivitas pertambangan dan industri, serta memiliki sifat toksik yang dapat mengakumulasi dalam tubuh manusia melalui rantai makanan.

Pb adalah logam berat yang bersifat *non-biodegradable* dan dapat terakumulasi dalam jaringan organisme akuatik, termasuk ikan. Pencemaran Pb pada perairan Sungai Batang Ombilin dapat terjadi akibat pembuangan limbah pertambangan, erosi sedimen yang terkontaminasi, serta limpasan permukaan dari area industri. Paparan timbal dapat menimbulkan dampak kesehatan yang signifikan, terutama pada anak-anak, yang meliputi gangguan perkembangan saraf pusat, penurunan fungsi kognitif, gangguan sistem reproduksi, serta anemia.

Sementara itu, As juga ditemukan dalam kadar yang melebihi batas aman di beberapa titik sepanjang Sungai Batang Ombilin. Sumber utama pencemaran arsenik adalah aktivitas penambangan batubara dan proses pelapukan mineral sulfida yang mengandung arsenik, serta pembuangan limbah industri. Arsenik diketahui bersifat karsinogenik (USEPA) dan dapat menyebabkan kanker kulit, paru-paru, serta kandung kemih apabila terpapar dalam jangka panjang. Selain itu, arsenik juga dapat menyebabkan kerusakan hati, ginjal, dan gangguan pada sistem kardiovaskular.

Paparan terhadap logam berat ini terjadi terutama melalui jalur ingesti (konsumsi ikan), yang memungkinkan logam berat yang terakumulasi dalam jaringan ikan masai masuk ke dalam tubuh manusia. Masyarakat yang secara rutin mengonsumsi

ikan dari perairan yang tercemar ini, terutama anak-anak, ibu hamil, dan lansia yang memiliki tingkat kerentanannya lebih tinggi, berisiko mengalami dampak kesehatan yang serius. Untuk identifikasi bahaya dapat dilihat pada **Tabel 4.9** dibawah ini

Tabel 4. 9 Identifikasi Bahaya As dan Pb pada Ikan Masai

Sumber	Media Lingkungan Potensial	Agen Risiko	Konsentrasi Teratur		
			Min (mg/kg)	Rata-rata (mg/kg)	Maks (mg/kg)
Tambang Pasir & Emas	Ikan masai	As	0,011	0,057	0,101
		Pb	0,014	0,071	0,123
As		0,016	0,089	0,176	
Pb		0,022	0,116	0,244	
As		0,009	0,056	0,118	
Pb		0,003	0,024	0,047	
As		0,013	0,080	0,172	
Pb		0,014	0,085	0,205	
As		0,002	0,015	0,024	
Pb		0,004	0,098	0,242	

Sumber: Analisis Penulis

Tabel ini menunjukkan konsentrasi logam berat Pb dan As di berbagai sumber lingkungan yang terkontaminasi di Sungai Batang Ombilin. Konsentrasi As dan Pb bervariasi antar lokasi, dengan konsentrasi tertinggi ditemukan di Pemukiman dan PLTU, di mana As mencapai 0,244 mg/l dan Pb hingga 0,176 mg/l pada konsentrasi rata-rata. Sumber-sumber lain seperti Tambang Pasir & Emas, PDAM, dan Bekas Tambang Batubara juga menunjukkan konsentrasi logam berat yang signifikan, dengan Pb mencapai 0,242 mg/l di Bekas Tambang Batubara.

Konsentrasi logam berat yang terdeteksi pada ikan masai (*Mystacoleucus marginatus*) dari perairan ini menunjukkan adanya potensi paparan bagi konsumen ikan di sekitar wilayah tersebut. Meskipun konsentrasi logam berat pada ikan di sebagian besar lokasi masih dalam batas aman, namun beberapa organ ikan, seperti isi perut, menunjukkan kadar logam yang lebih tinggi. Data ini mengindikasikan adanya risiko kesehatan, terutama pada masyarakat yang mengonsumsi ikan tersebut secara rutin, dan menyoroti pentingnya pengelolaan pencemaran air untuk mengurangi potensi dampak negatif terhadap kesehatan manusia.

4.6.2 Analisis Dosis Respon (Dose-Respon Assessment)

Setelah mengidentifikasi bahaya yang ditimbulkan oleh logam berat Timbal (Pb) dan Arsenik (As) yang terdapat pada ikan masai di Sungai Batang Ombilin, langkah

berikutnya adalah melakukan analisis dosis-respon. Tahap ini bertujuan untuk memahami hubungan antara tingkat paparan logam berat dalam ikan dan efek kesehatan yang ditimbulkan akibat konsumsi ikan tersebut oleh masyarakat. Proses analisis dosis-respon melibatkan pemahaman tentang jalur pajanan, perubahan gejala atau efek kesehatan, serta dosis referensi yang dapat diterima.

Jalur pajanan utama yang diidentifikasi dalam penelitian ini adalah ingesti, di mana logam berat dari ikan masai yang terkontaminasi masuk ke tubuh manusia melalui konsumsi. Selanjutnya, perubahan gejala atau efek kesehatan yang dapat muncul akibat konsumsi ikan yang terkontaminasi logam berat tersebut adalah gangguan pada sistem saraf, penurunan fungsi kognitif, serta peningkatan risiko kanker. Pb dapat menyebabkan kerusakan pada sistem saraf pusat, terutama pada anak-anak, sementara As bersifat karsinogenik dan dapat meningkatkan risiko kanker kulit, paru-paru, dan kandung kemih pada paparan jangka panjang. Untuk memastikan dampak kesehatan yang ditimbulkan, langkah selanjutnya adalah mengukur dosis referensi (RfD) atau konsentrasi referensi (RfC) untuk logam berat ini. Berdasarkan sumber dari IRIS USEPA RfD untuk Pb adalah 0,0036 mg/kg/hari, dan untuk As adalah 0,00006 mg/kg/hari, untuk Arsenik Karsinogenik menggunakan *slope factor* (SF) sebesar 32 mg/kg-day.

4.6.3 Analisis Pajanan (Exposure Assessment)

Pada tahap ini, dilakukan analisis untuk mengukur seberapa banyak paparan logam berat yang diterima oleh masyarakat melalui konsumsi ikan masai (*Mystacoleucus marginatus*). Pengukuran pajanan logam berat timbal (Pb) dan arsenik (As) dilakukan untuk menilai potensi dampak kesehatan dari konsumsi ikan yang terkontaminasi logam berat tersebut. Untuk perhitungan nilai Intake (Ink) pada ikan masai (*Mystacoleucus marginatus*), lima lokasi berbeda sepanjang Sungai Batang Ombilin digunakan sebagai titik pengambilan sampel. perhitungan intake untuk Pb dan As pada paparan melalui jalur ingesti (tertelan) dilakukan menggunakan beberapa nilai *default* yang mewakili konsumsi ikan dan paparan logam berat oleh manusia. Untuk Pb yang bersifat non-karsinogenik, nilai laju konsumsi ikan (R) yang digunakan adalah 54 gram/hari, yang merupakan jumlah rata-rata ikan yang dikonsumsi oleh individu setiap harinya. Frekuensi pajanan (fE) ditetapkan sebanyak 350 hari/tahun, yang menunjukkan bahwa individu ini mengonsumsi ikan

hampir setiap hari sepanjang tahun. Durasi pajanan (Dt) untuk efek non-karsinogenik dihitung selama 30 tahun, mencerminkan paparan jangka panjang yang bisa terjadi pada individu yang tinggal di daerah dengan pencemaran logam berat. Berat badan yang digunakan dalam perhitungan adalah 55 kg, yang merupakan standar berat badan untuk individu dewasa di Indonesia. Selain itu, waktu rata-rata paparan (t_{avg}) untuk efek non-karsinogenik dihitung sebanyak 10.950 hari, yang didapatkan dari durasi pajanan selama 30 tahun.

Sementara itu, untuk As yang memiliki efek karsinogenik, perhitungan dilakukan dengan nilai yang sama untuk R sebesar 54 gram/hari dan fE sebanyak 350 hari/tahun. Namun, untuk As, Dt dihitung selama 70 tahun, yang mencerminkan paparan jangka panjang sepanjang hidup manusia, mengingat arsenik diketahui memiliki potensi karsinogenik yang dapat menimbulkan risiko kanker setelah paparan dalam waktu yang lama. Berat badan yang digunakan dalam perhitungan adalah 55 kg untuk individu dewasa Asia/Indonesia, dan t_{avg} untuk efek karsinogenik adalah 25.550 hari, yang dihitung berdasarkan durasi pajanan selama 70 tahun.

4.6.3.1 Analisis Pajanan Ikan Masai Bagian Daging dan Kepala Saja

Sebanyak 72 responden mengonsumsi hanya bagian daging ikan masai. Analisis pajanan untuk kelompok ini didasarkan pada konsentrasi Pb dan As yang terdapat pada daging ikan saja. Berikut adalah penjelasan mengenai perhitungan intake untuk setiap lokasi:

A. Tambang Pasir dan Dan Emas

Pada lokasi Tambang Pasir & Emas, konsentrasi arsenik (As) tercatat sebesar 0.0745 mg/L, yang melebihi batas baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021, yaitu 0.05 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan arsenik di lokasi tambang pasir dan emas sangat tinggi, dan dapat menimbulkan risiko kesehatan yang signifikan bagi organisme yang hidup di perairan tersebut, termasuk ikan masai yang digunakan sebagai bioindikator dalam penelitian ini.

Pada lokasi Tambang Pasir & Emas, konsentrasi timbal (Pb) tercatat sebesar 0.0816 mg/L, yang juga melebihi batas baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan

Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021, yaitu 0.03 mg/L. Ini menunjukkan bahwa lokasi tambang pasir dan emas tidak hanya tercemar oleh arsenik, tetapi juga oleh Pb, yang keduanya berpotensi memberikan dampak serius bagi kesehatan manusia dan ekosistem perairan. Berikut ini merupakan perhitungan nilai intake dari As dan Pb di lokasi tambang pasir dan emas:

- Perhitungan Intake Timbal di Kawasan Tambang Pasir dan Emas

$$\text{ink timbal} = \frac{C \cdot R \cdot f_{E.Dt}}{W_b \cdot T_{tvg}}$$

$$\text{ink timbal} = \frac{0,089 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gram}} \cdot \frac{54 \text{ gram}}{\text{hari}} \cdot 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \cdot 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \cdot 10950 \text{ hari}}$$

$$\text{ink timbal} = 0,00008 \text{ mg/kg.hari}$$

- Perhitungan Intake Arsenik di Kawasan Tambang Pasir dan Emas

$$\text{ink arsenik} = \frac{C \cdot R \cdot f_{E.Dt}}{W_b \cdot T_{tvg}}$$

$$\text{ink arsenik} = \frac{0,069 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gram}} \cdot \frac{54 \text{ gram}}{\text{hari}} \cdot 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \cdot 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \cdot 25550 \text{ hari}}$$

$$\text{ink arsenik} = 0,00003 \text{ mg/kg.hari}$$

Berdasarkan hasil perhitungan intake Pb dan As di kawasan Tambang Pasir dan Emas, diperoleh nilai intake timbal sebesar 0,00008 mg/kg.hari dan intake arsenik sebesar 0,00003 mg/kg.hari.

B. Pemukiman

Pada lokasi Pemukiman, konsentrasi As tercatat sebesar 0.0062 mg/L, yang melebihi batas baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021, yaitu 0.05 mg/L. Meskipun konsentrasi arsenik pada lokasi ini tidak setinggi pada Tambang Pasir & Emas, namun tetap menunjukkan adanya pencemaran arsenik yang berpotensi menimbulkan risiko kesehatan jika terakumulasi dalam tubuh manusia melalui konsumsi ikan atau air yang terkontaminasi. Arsenik yang terakumulasi di tubuh ikan dapat menyebabkan masalah kesehatan serius seperti keracunan akut, gangguan sistem pencernaan, dan dalam jangka panjang, kanker.

Namun, untuk Pb, konsentrasi yang tercatat di lokasi pemukiman adalah 0.0176

mg/L, yang masih berada di bawah batas baku mutu yang ditetapkan, yaitu 0.03 mg/L. Ini berarti meskipun timbal tetap dapat terakumulasi dalam perairan dan biota, tingkat konsentrasi di lokasi pemukiman ini masih relatif aman dan tidak melebihi standar yang diizinkan. Berikut ini merupakan perhitungan nilai intake dari As dan Pb di lokasi pemukiman:

- Perhitungan Intake Timbal di Kawasan Pemukiman

$$\text{ink timbal} = \frac{C \cdot R \cdot f_{E,Dt}}{W_b \cdot T_{tvg}}$$

$$\text{ink timbal} = \frac{0,103 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gram}} \cdot \frac{54 \text{ gram}}{\text{hari}} \cdot 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \cdot 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \cdot 10950 \text{ hari}}$$

$$\text{ink timbal} = 0,0001 \text{ mg/kg.hari}$$

- Perhitungan Intake Arsenik di Kawasan Pemukiman

$$\text{ink arsenik} = \frac{C \cdot R \cdot f_{E,Dt}}{W_b \cdot T_{tvg}}$$

$$\text{ink arsenik} = \frac{0,091 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gram}} \cdot \frac{54 \text{ gram}}{\text{hari}} \cdot 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \cdot 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \cdot 25550 \text{ hari}}$$

$$\text{ink arsenik} = 0,00004 \text{ mg/kg.hari}$$

Berdasarkan hasil perhitungan intake Pb dan As di kawasan Pemukiman, diperoleh nilai intake timbal sebesar 0,0001 mg/kg.hari dan intake arsenik sebesar 0,00004 mg/kg.hari.

C. PDAM

Pada lokasi PDAM, konsentrasi As tercatat sebesar 0.0054 mg/L, yang melebihi batas baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021, yaitu 0.05 mg/L. Hal ini menunjukkan adanya potensi pencemaran arsenik yang dapat membahayakan kualitas air yang digunakan oleh masyarakat untuk keperluan rumah tangga, termasuk konsumsi ikan dan air. Paparan arsenik dalam jangka panjang dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan, seperti gangguan pencernaan, kerusakan kulit, dan risiko kanker.

Di sisi lain, konsentrasi Pb pada lokasi PDAM tercatat sebesar 0.0214 mg/L, yang masih berada di bawah baku mutu yang ditetapkan, yaitu 0.03 mg/L. Ini menunjukkan bahwa meskipun timbal hadir di perairan ini, tingkatnya tidak cukup

tinggi untuk melebihi ambang batas yang ditetapkan oleh regulasi. Walaupun demikian, keberadaan timbal tetap perlu diperhatikan karena dapat terakumulasi dalam tubuh ikan dan berpotensi menimbulkan dampak kesehatan jika dikonsumsi dalam jumlah yang berlebihan. Berikut ini merupakan perhitungan nilai intake dari As dan Pb di lokasi PDAM:

- Perhitungan Intake Timbal di Kawasan PDAM

$$\text{ink timbal} = \frac{C \cdot R \cdot f_{E,Dt}}{W_b \cdot T_{tvg}}$$

$$\text{ink timbal} = \frac{0,024 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gram}} \cdot \frac{54 \text{ gram}}{\text{hari}} \cdot 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \cdot 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \cdot 10950 \text{ hari}}$$

$$\text{ink timbal} = 0,00002 \text{ mg/kg.hari}$$

- Perhitungan Intake Arsenik di Kawasan PDAM

$$\text{ink arsenik} = \frac{C \cdot R \cdot f_{E,Dt}}{W_b \cdot T_{tvg}}$$

$$\text{ink arsenik} = \frac{0,05 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gram}} \cdot \frac{54 \text{ gram}}{\text{hari}} \cdot 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \cdot 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \cdot 25550 \text{ hari}}$$

$$\text{ink arsenik} = 0,00002 \text{ mg/kg.hari}$$

Berdasarkan hasil perhitungan intake Pb dan As di kawasan PDAM, diperoleh nilai intake timbal sebesar 0,00002 mg/kg.hari dan intake arsenik sebesar 0,00002 mg/kg.hari.

D. PLTU

Pada lokasi PLTU, konsentrasi As tercatat sebesar 0.0082 mg/L, yang melebihi batas baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021, yaitu 0.05 mg/L. Pencemaran arsenik ini dapat berasal dari aktivitas industri pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar fosil, yang berpotensi menghasilkan limbah yang mengandung arsenik. Meskipun konsentrasi arsenik di lokasi ini tidak setinggi di beberapa lokasi lainnya, tetap ada risiko kesehatan yang harus diperhatikan, terutama terkait dengan paparan jangka panjang yang dapat menyebabkan keracunan atau kanker pada manusia yang mengonsumsi ikan yang terpapar arsenik.

Sementara itu, Pb di kawasan PLTU tercatat sebesar 0.0201 mg/L, yang masih

berada di bawah baku mutu yang ditetapkan, yaitu 0.03 mg/L. Ini menunjukkan bahwa meskipun timbal ada di perairan ini, konsentrasinya tidak cukup tinggi untuk melebihi batas yang diizinkan oleh regulasi. Meskipun begitu, keberadaan timbal tetap memerlukan perhatian karena dapat terakumulasi dalam tubuh ikan dan berdampak pada kesehatan manusia yang mengonsumsinya dalam jangka panjang. Berikut ini merupakan perhitungan nilai intake dari As dan Pb di lokasi PLTU:

- Perhitungan Intake Timbal di Kawasan PLTU

$$\text{ink timbal} = \frac{C \cdot R \cdot f_{E.D_t}}{W_b \cdot T_{tv_g}}$$

$$\text{ink timbal} = \frac{0,051 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gram}} \cdot \frac{54 \text{ gram}}{\text{hari}} \cdot 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \cdot 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \cdot 10950 \text{ hari}}$$

$$\text{ink timbal} = 0,00005 \text{ mg/kg.hari}$$

- Perhitungan Intake Arsenik di Kawasan PLTU

$$\text{ink arsenik} = \frac{C \cdot R \cdot f_{E.D_t}}{W_b \cdot T_{tv_g}}$$

$$\text{ink arsenik} = \frac{0,069 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gram}} \cdot \frac{54 \text{ gram}}{\text{hari}} \cdot 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \cdot 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \cdot 25550 \text{ hari}}$$

$$\text{ink arsenik} = 0,00003 \text{ mg/kg.hari}$$

Berdasarkan hasil perhitungan intake Pb dan As di kawasan PLTU, diperoleh nilai intake timbal sebesar 0,00005 mg/kg.hari dan intake arsenik sebesar 0,00003 mg/kg.hari.

E. Bekas Tambang Batu Bara

Pada lokasi Bekas Tambang Batubara, konsentrasi As tercatat sebesar 0.0053 mg/L, yang melebihi batas baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021, yaitu 0.05 mg/L. Pencemaran arsenik ini dapat berasal dari aktivitas pertambangan batu bara yang meninggalkan limbah mengandung logam berat, yang mencemari perairan sekitar.

Selain itu, konsentrasi Pb di lokasi ini tercatat sebesar 0.0312 mg/L, yang juga melebihi baku mutu yang ditetapkan, yaitu 0.03 mg/L. Meskipun konsentrasi timbal di lokasi bekas tambang batu bara tidak setinggi di beberapa lokasi lainnya, tetap ada potensi risiko kesehatan yang perlu mendapat perhatian.

Dengan demikian, baik As maupun Pb di kawasan Bekas Tambang Batubara telah melampaui batas baku mutu yang ditetapkan. Hal ini menunjukkan adanya potensi pencemaran logam berat yang dapat menimbulkan risiko kesehatan yang signifikan bagi masyarakat yang tinggal di sekitar daerah tersebut, khususnya bagi mereka yang mengonsumsi ikan atau air yang terkontaminasi. Penting untuk melakukan pemantauan rutin terhadap kualitas air dan biota perairan di kawasan ini untuk mengurangi risiko kesehatan yang lebih besar. Berikut ini merupakan perhitungan nilai intake dari As dan Pb di lokasi bekas tambang batu bara:

- Perhitungan Intake Timbal di Kawasan bekas tambang batu bara

$$\text{ink timbal} = \frac{C \cdot R \cdot f_{E.D_t}}{W_b \cdot T_{tvg}}$$

$$\text{ink timbal} = \frac{0,05 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gram}} \cdot \frac{54 \text{ gram}}{\text{hari}} \cdot 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \cdot 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \cdot 10950 \text{ hari}}$$

$$\text{ink timbal} = 0,000047 \text{ mg/kg.hari}$$

- Perhitungan Intake Arsenik di Kawasan bekas tambang batu bara

$$\text{ink arsenik} = \frac{C \cdot R \cdot f_{E.D_t}}{W_b \cdot T_{tvg}}$$

$$\text{ink arsenik} = \frac{0,026 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gram}} \cdot \frac{54 \text{ gram}}{\text{hari}} \cdot 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \cdot 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \cdot 25550 \text{ hari}}$$

$$\text{ink arsenik} = 0,00001 \text{ mg/kg.hari}$$

Berdasarkan hasil perhitungan intake Pb dan As di kawasan bekas tambang batu bara, diperoleh nilai intake timbal sebesar 0,000047 mg/kg.hari dan intake arsenik sebesar 0,00001 mg/kg.hari.

4.6.3.2 Analisis Paparan Ikan Masai Semua Bagian

Kelompok ini terdiri dari 28 orang responden. Perhitungan asupan ini menggunakan data konsentrasi logam berat pada seluruh bagian ikan dari berbagai lokasi yang tercatat dalam penelitian Fauzan (2024).

A. Tambang Pasir dan Dan Emas

Di lokasi Tambang Pasir & Emas, konsentrasi Pb dan As dalam tubuh ikan masai lebih tinggi dibandingkan dengan beberapa lokasi lainnya. Konsentrasi Pb yang

terdeteksi di perairan ini adalah 0.0816 mg/L dan As adalah 0.0745 mg/L. Paparan jangka panjang terhadap Pb dan As dapat menyebabkan gangguan kesehatan, termasuk kerusakan organ, gangguan saraf, dan kanker. Berikut ini merupakan perhitungan nilai intake dari As dan Pb di lokasi tambang pasir dan emas:

- Perhitungan Intake Timbal di Kawasan tambang pasir dan emas

$$\text{ink timbal} = \frac{C \cdot R \cdot f_{E.D_t}}{W_b \cdot T_{tvg}}$$

$$\text{ink timbal} = \frac{0,212 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gram}} \cdot \frac{54 \text{ gram}}{\text{hari}} \cdot 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \cdot 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \cdot 10950 \text{ hari}}$$

$$\text{ink timbal} = 0,0002 \text{ mg/kg.hari}$$

- Perhitungan Intake Arsenik di Kawasan tambang pasir dan emas

$$\text{ink arsenik} = \frac{C \cdot R \cdot f_{E.D_t}}{W_b \cdot T_{tvg}}$$

$$\text{ink arsenik} = \frac{0,171 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gram}} \cdot \frac{54 \text{ gram}}{\text{hari}} \cdot 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \cdot 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \cdot 25550 \text{ hari}}$$

$$\text{ink arsenik} = 0,00007 \text{ mg/kg.hari}$$

Berdasarkan hasil perhitungan intake Pb dan As pada ikan yang dikonsumsi seluruh bagiannya di kawasan Tambang Pasir dan Emas, diperoleh nilai intake timbal sebesar 0,0002 mg/kg.hari dan intake arsenik sebesar 0,00007 mg/kg.hari. Perhitungan ini dilakukan dengan menggunakan konsentrasi timbal sebesar 0,212 mg/kg dan arsenik sebesar 0,171 mg/kg.

B. Pemukiman

Di lokasi Pemukiman, meskipun konsentrasi Pb yang terdeteksi adalah 0.0176 mg/L, masih berada dalam batas baku mutu yang ditetapkan, sementara As tercatat pada 0.0062 mg/L, yang melebihi batas baku mutu 0.05 mg/L. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa meskipun Pb relatif rendah, arsenik masih menjadi perhatian utama di lokasi ini karena dapat menimbulkan risiko karsinogenik pada jangka panjang. Berikut ini merupakan perhitungan nilai intake dari As dan Pb di lokasi pemukiman:

- Perhitungan Intake Timbal di Kawasan pemukiman

$$\text{ink timbal} = \frac{C \cdot R \cdot f_{E.D_t}}{W_b \cdot T_{\text{tv}g}}$$

$$\text{ink timbal} = \frac{0,347 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gram}} \cdot \frac{54 \text{ gram}}{\text{hari}} \cdot 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \cdot 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \cdot 10950 \text{ hari}}$$

$$\text{ink timbal} = 0,00033 \text{ mg/kg.hari}$$

- Perhitungan Intake Arsenik di Kawasan pemukiman

$$\text{ink arsenik} = \frac{C \cdot R \cdot f_{E.D_t}}{W_b \cdot T_{\text{tv}g}}$$

$$\text{ink arsenik} = \frac{0,267 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gram}} \cdot \frac{54 \text{ gram}}{\text{hari}} \cdot 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \cdot 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \cdot 25550 \text{ hari}}$$

$$\text{ink arsenik} = 0,00011 \text{ mg/kg.hari}$$

Berdasarkan hasil perhitungan intake Pb dan As pada ikan yang dikonsumsi seluruh bagiannya di kawasan Pemukiman, diperoleh nilai intake timbal sebesar 0,00033 mg/kg.hari dan intake arsenik sebesar 0,00011 mg/kg.hari. Perhitungan ini menggunakan konsentrasi timbal sebesar 0,347 mg/kg dan arsenik sebesar 0,267 mg/kg.

C. PDAM

Di lokasi PDAM, Pb tercatat sebesar 0.0214 mg/L dan As sebesar 0.0054 mg/L. Meskipun kedua logam ini tidak melebihi baku mutu, paparan logam berat melalui konsumsi ikan yang terkontaminasi bisa tetap menyebabkan gangguan kesehatan dalam jangka panjang. Berikut ini merupakan perhitungan nilai intake dari As dan Pb di lokasi PDAM:

- Perhitungan Intake Timbal di Kawasan PDAM

$$\text{ink timbal} = \frac{C \cdot R \cdot f_{E.D_t}}{W_b \cdot T_{\text{tv}g}}$$

$$\text{ink timbal} = \frac{0,071 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gram}} \cdot \frac{54 \text{ gram}}{\text{hari}} \cdot 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \cdot 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \cdot 10950 \text{ hari}}$$

$$\text{ink timbal} = 0,00007 \text{ mg/kg.hari}$$

- Perhitungan Intake Arsenik di Kawasan PDAM

$$\text{ink arsenik} = \frac{C \cdot R \cdot f_{E.D_t}}{W_b \cdot T_{\text{tv}g}}$$

$$\text{ink arsenik} = \frac{0,168 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gram}} \cdot \frac{54 \text{ gram}}{\text{hari}} \cdot 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \cdot 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \cdot 25550 \text{ hari}}$$

$$\text{ink arsenik} = 0,00007 \text{ mg/kg.hari}$$

Berdasarkan hasil perhitungan intake Pb dan As pada ikan yang dikonsumsi seluruh bagiannya di kawasan PDAM, diperoleh nilai intake timbal sebesar 0,00007 mg/kg.hari dan intake arsenik sebesar 0,00007 mg/kg.hari. Perhitungan ini menggunakan konsentrasi timbal 0,071 mg/kg dan arsenik 0,168 mg/kg.

D. PLTU

Di lokasi PLTU, konsentrasi Pb tercatat sebesar 0.0201 mg/L dan As sebesar 0.0082 mg/L. Kedua logam berat ini menunjukkan paparan yang lebih tinggi dari batas baku mutu, yang meningkatkan risiko kesehatan pada masyarakat yang mengonsumsi ikan yang terkontaminasi. Berikut ini merupakan perhitungan nilai intake dari As dan Pb di lokasi PLTU:

- Perhitungan Intake Timbal di Kawasan PLTU

$$\text{ink timbal} = \frac{C \cdot R \cdot f_{E.D_t}}{W_b \cdot T_{tvg}}$$

$$\text{ink timbal} = \frac{0,256 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gram}} \cdot \frac{54 \text{ gram}}{\text{hari}} \cdot 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \cdot 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \cdot 10950 \text{ hari}}$$

$$\text{ink timbal} = 0,00024 \text{ mg/kg.hari}$$

- Perhitungan Intake Arsenik di Kawasan PLTU

$$\text{ink arsenik} = \frac{C \cdot R \cdot f_{E.D_t}}{W_b \cdot T_{tvg}}$$

$$\text{ink arsenik} = \frac{0,241 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gram}} \cdot \frac{54 \text{ gram}}{\text{hari}} \cdot 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \cdot 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \cdot 25550 \text{ hari}}$$

$$\text{ink arsenik} = 0,0001 \text{ mg/kg.hari}$$

Berdasarkan hasil perhitungan intake Pb dan As pada ikan yang dikonsumsi seluruh bagiannya di kawasan PLTU, diperoleh nilai intake timbal sebesar 0,00024 mg/kg.hari dan intake arsenik sebesar 0,0001 mg/kg.hari. Perhitungan ini menggunakan konsentrasi timbal 0,256 mg/kg dan arsenik 0,241 mg/kg.

E. Bekas Tambang Batu Bara

Di lokasi Bekas Tambang Batu Bara, Pb tercatat sebesar 0.0312 mg/L dan As sebesar 0.0053 mg/L, keduanya melebihi baku mutu yang ditetapkan oleh pemerintah. Konsentrasi timbal yang lebih tinggi menunjukkan potensi kerusakan organ, terutama pada sistem saraf dan ginjal, serta dampak negatif bagi kesehatan manusia yang mengonsumsi ikan dari lokasi ini. Arsenik, meskipun sedikit lebih rendah, tetap merupakan logam berat beracun yang dapat menyebabkan kanker dan gangguan lainnya jika terpapar dalam jangka panjang. Berikut ini merupakan perhitungan nilai intake dari As dan Pb di lokasi bekas tambang batu bara:

- Perhitungan Intake Timbal di Kawasan bekas tambang batu bara

$$\text{ink timbal} = \frac{C \cdot R \cdot f_{E.D_t}}{W_b \cdot T_{tvg}}$$

$$\text{ink timbal} = \frac{0,293 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gram}} \cdot \frac{54 \text{ gram}}{\text{hari}} \cdot 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \cdot 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \cdot 10950 \text{ hari}}$$

$$\text{ink timbal} = 0,00028 \text{ mg/kg.hari}$$

- Perhitungan Intake Arsenik di Kawasan bekas tambang batu bara

$$\text{ink arsenik} = \frac{C \cdot R \cdot f_{E.D_t}}{W_b \cdot T_{tvg}}$$

$$\text{ink arsenik} = \frac{0,045 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gram}} \cdot \frac{54 \text{ gram}}{\text{hari}} \cdot 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \cdot 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \cdot 25550 \text{ hari}}$$

$$\text{ink arsenik} = 0,00002 \text{ mg/kg.hari}$$

Berdasarkan hasil perhitungan intake Pb dan As pada ikan yang dikonsumsi seluruh bagiannya di kawasan Bekas Tambang Batu Bara, diperoleh nilai intake timbal sebesar 0,00028 mg/kg.hari dan intake arsenik sebesar 0,00002 mg/kg.hari. Untuk rekapitulasi perhitungan dari nilai intake dengan nilai *default* dapat dilihat pada **Tabel 4.10**

Tabel 4. 10 Rekapitulasi Nilai Intake Dengan Data Default

No.	Lokasi	Intake Nilai <i>Default</i> (x 10 ⁻³)					
		Bagian Daging dan Kepala			Semua Bagian		
		As (nk)	As (k)	Pb	As (nk)	As (k)	Pb
1	Tambang Pasir & Emas	0,06515	0,02792	0,08388	0,16065	0,06885	0,20003
2	Pemukiman	0,08596	0,03684	0,09694	0,25159	0,10783	0,32707
3	PDAM	0,04732	0,02028	0,02250	0,15829	0,06784	0,06703
4	PLTU	0,06484	0,02779	0,04798	0,22645	0,09705	0,24098
5	Bekas Tambang Batubara	0,02476	0,01061	0,04748	0,04224	0,01810	0,27547

Sumber: Analisis Penulis (2025)

Untuk membandingkan antara nilai *default* dan nilai real yang ada dilapangan, maka dihitung juga nilai intake dengan menggunakan data real di lapangan, dengan nilai konsumsi (R) didapat dari hasil kuesioner di lapangan dengan konsumsi harian dari rata-rata konsumsi ikan masai dalam rentang waktu satu tahun adalah 5,362 gram/hari. Dan untuk nilai berat badan diambil dari rata-rata berat badan 100 responden adalah 65,59 kg. Maka untuk rekapitulasi data perhitungan nilai intake dengan nilai real dapat dilihat pada Tabel 4.11

Tabel 4. 11 Rekapitulasi Nilai Intake Dengan Data *Real*

No.	Lokasi	Intake Nilai <i>Real</i> (x 10 ⁻³)					
		Bagian Daging dan Kepala			Semua Bagian		
		As (nk)	As (k)	Pb	As (nk)	As (k)	Pb
1	Tambang Pasir & Emas	0,00542	0,00232	0,00698	0,01337	0,00573	0,01665
2	Pemukiman	0,00716	0,00307	0,00807	0,02095	0,00898	0,02723
3	PDAM	0,00394	0,00169	0,00187	0,01318	0,00565	0,00558
4	PLTU	0,00540	0,00231	0,00399	0,01885	0,00808	0,02006
5	Bekas Tambang Batubara	0,00206	0,00088	0,00395	0,00352	0,00151	0,02293

Sumber: Analisis Penulis (2025)

4.6.4 Karakterisasi Risiko

Karakterisasi risiko merupakan tahapan terakhir dalam penilaian risiko kesehatan lingkungan yang bertujuan untuk menentukan tingkat risiko yang dihadapi individu atau populasi akibat paparan terhadap suatu zat berbahaya. Dalam penelitian ini, karakterisasi risiko dilakukan untuk menilai potensi dampak kesehatan dari paparan logam berat Pb dan As melalui konsumsi ikan masai (*Mystacoleucus marginatus*) di Sungai Batang Ombilin, Kota Sawahlunto. Proses karakterisasi risiko ini melibatkan perhitungan *Risk Quent* (RQ) untuk menilai risiko non-karsinogenik serta *Excess Cancer Risk* (ECR) untuk mengevaluasi potensi risiko kanker akibat paparan logam berat. Hasil dari karakterisasi risiko ini akan memberikan gambaran

apakah konsumsi ikan masai yang terkontaminasi logam berat dapat menimbulkan dampak kesehatan yang signifikan bagi masyarakat atau tidak.

4.6.4.1 Risiko Non-Karsinogenik

1. Timbal (Pb)

Risiko non-karsinogenik merujuk pada potensi dampak kesehatan yang disebabkan oleh paparan Pb tanpa mengarah pada pengembangan kanker, namun tetap dapat memengaruhi organ tubuh dan sistem fisiologis lainnya. Pada subbab ini, akan dianalisis potensi risiko kesehatan non-karsinogenik akibat konsumsi ikan masai (*Mystacoleucus marginatus*) yang terkontaminasi timbal, dengan menggunakan parameter RQ. RQ digunakan untuk mengevaluasi apakah paparan timbal melalui konsumsi ikan melebihi batas aman yang ditetapkan oleh standar kesehatan. Jika nilai RQ lebih besar dari 1, ini menunjukkan bahwa paparan timbal dapat menyebabkan efek kesehatan yang signifikan. Perhitungan ini bertujuan untuk menilai apakah risiko yang ditimbulkan oleh konsumsi ikan yang terkontaminasi timbal berada dalam tingkat yang aman bagi masyarakat, serta untuk memberikan rekomendasi terkait pengendalian paparan logam berat tersebut guna mengurangi dampak kesehatan jangka panjang. Untuk nilai dari RQ pada konsumsi bagian badan dan kepala ikan masai pada data *default* dan data *real* dapat dilihat pada **Tabel 4.12**

Tabel 4. 12 Rekapitulasi Nilai RQ Timbal Untuk Konsumsi Daging dan Kepala Ikan

Nilai RQ untuk daging dan kepala							
No.	Lokasi	Nilai <i>Default</i>			Nilai Real		
		Intake Pb	RQ	Keterangan	Intake Pb	RQ	Keterangan
1	Tambang Pasir & Emas	0,000083	0,02330	Tidak Berisiko	0,0000070	0,00194	Tidak Berisiko
2	Pemukiman	0,000096	0,02693	Tidak Berisiko	0,0000081	0,00224	Tidak Berisiko
3	PDAM	0,000022	0,00625	Tidak Berisiko	0,0000019	0,00052	Tidak Berisiko
4	PLTU	0,000048	0,01333	Tidak Berisiko	0,0000040	0,00111	Tidak Berisiko
5	Bekas Tambang Batubara	0,000047	0,01319	Tidak Berisiko	0,0000040	0,00110	Tidak Berisiko

Sumber: Analisa Penulis (2025)

Dari tabel tersebut, dapat dilihat bahwa nilai RQ berdasarkan data real di lapangan secara umum lebih rendah dibandingkan dengan nilai *default* yang digunakan untuk menghitung potensi risiko kesehatan. Pada lokasi Tambang Pasir & Emas, nilai intake Pb yang terukur adalah 0,000070 dengan nilai RQ sebesar 0,00194, yang

lebih rendah dibandingkan dengan nilai *default* yang memiliki RQ 0,02330. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun terdapat paparan timbal yang signifikan di lokasi ini, risiko kesehatan yang dihadapi konsumen ikan sangat kecil jika dilihat dari nilai RQ yang diukur langsung. Begitu pula pada Pemukiman, nilai intake Pb yang tercatat sebesar 0,000081 menghasilkan nilai RQ 0,00224, yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan nilai *default* yang memiliki RQ 0,02693. Ini mengindikasikan bahwa risiko kesehatan terkait dengan konsumsi ikan dari lokasi tersebut juga tidak berisiko meskipun menggunakan nilai *default* yang lebih tinggi.

Di PDAM, nilai intake Pb yang terukur adalah 0,000019, menghasilkan nilai RQ 0,00052, yang juga lebih rendah dibandingkan nilai *default*nya yang memiliki RQ 0,00625. Ini menunjukkan bahwa berdasarkan data real, konsentrasi timbal di ikan yang dikonsumsi tidak menimbulkan potensi risiko kesehatan yang signifikan. Demikian pula pada PLTU, nilai intake Pb yang terukur sebesar 0,0000011 menghasilkan RQ sebesar 0,00011, jauh lebih rendah dari nilai *default* yang memiliki RQ 0,01333. Terakhir, di Bekas Tambang Batubara, nilai intake Pb yang tercatat adalah 0,0000040 dengan RQ 0,00110, juga jauh lebih rendah dari nilai *default* yang memiliki RQ 0,01319.

Secara keseluruhan, meskipun konsentrasi timbal yang ditemukan di air dan ikan di berbagai lokasi cukup bervariasi, nilai RQ berdasarkan data real di lapangan selalu lebih rendah daripada nilai *default*. Nilai dari RQ pada konsumsi seluruh bagian ikan masai pada data *default* dan data *real* dapat dilihat pada **Tabel 4.13**

Tabel 4. 13 Rekapitulasi Nilai RQ Timbal Untuk Konsumsi Seluruh Bagian Ikan

Nilai RQ untuk Seluruh Bagian Ikan							
No.	Lokasi	Nilai Default			Nilai Real		
		Intake Pb	RQ	Keterangan	Intake Pb	RQ	Keterangan
1	Tambang Pasir & Emas	0,0002000	0,05556	Tidak Berisiko	0,0000167	0,00463	Tidak Berisiko
2	Pemukiman	0,0003271	0,09085	Tidak Berisiko	0,0000272	0,00756	Tidak Berisiko
3	PDAM	0,0000670	0,01862	Tidak Berisiko	0,0000056	0,00155	Tidak Berisiko
4	PLTU	0,0002410	0,06694	Tidak Berisiko	0,0000201	0,00557	Tidak Berisiko
5	Bekas Tambang Batubara	0,0002755	0,07652	Tidak Berisiko	0,0000229	0,00637	Tidak Berisiko

Sumber: Analisa Penulis (2025)

Tambang Pasir & Emas, meskipun nilai *default* menunjukkan intake Pb 0,0000200 dengan RQ sebesar 0,05556, nilai real yang diukur di lapangan menunjukkan intake Pb yang jauh lebih rendah yaitu 0,0000167 dengan RQ 0,00463, yang berada jauh

di bawah ambang batas risiko. Hal serupa terjadi pada Pemukiman, di mana nilai *default* menunjukkan intake Pb 0,0003271 dengan RQ 0,09085, sedangkan nilai real menunjukkan intake Pb 0,0000272 dengan RQ 0,00756, yang juga tidak menunjukkan risiko kesehatan yang signifikan.

Pada PDAM, nilai *default* menunjukkan intake Pb 0,0000670 dengan RQ 0,01862, sedangkan nilai real yang terukur di lapangan menunjukkan intake Pb 0,0000056 dengan RQ 0,00155, yang menunjukkan tingkat risiko yang sangat rendah. Di PLTU, nilai *default* menunjukkan intake Pb 0,0002410 dengan RQ 0,06694, sementara nilai real menunjukkan intake Pb 0,0000201 dengan RQ 0,00557, yang juga berada di bawah ambang batas risiko. Terakhir, pada Bekas Tambang Batubara, nilai *default* menunjukkan intake Pb 0,0002755 dengan RQ 0,07652, sedangkan nilai real menunjukkan intake Pb 0,0000229 dengan RQ 0,00637, yang menegaskan bahwa tidak ada risiko kesehatan signifikan berdasarkan pengukuran lapangan.

Secara keseluruhan, meskipun terdapat paparan timbal yang terdeteksi di lokasi-lokasi tersebut, data real yang diperoleh di lapangan menunjukkan bahwa risiko kesehatan akibat konsumsi ikan dari lokasi-lokasi tersebut sangat rendah, bahkan lebih rendah dari yang diperkirakan menggunakan nilai *default*.

2. Arsenik (As)

Arsenik anorganik dapat memiliki efek non-karsinogenik yang signifikan meskipun tidak menyebabkan kanker. Efek utama dari paparan arsenik ini terutama pada kulit dan sistem vaskular. Penilaian risiko dari arsenik menunjukkan bahwa paparan jangka panjang, terutama dari air minum yang terkontaminasi arsenik, dapat menyebabkan hiperpigmentasi kulit, keratosis, dan kemungkinan komplikasi vaskular seperti penyakit arteri perifer. dengan efek utama berupa perubahan kulit dan pembuluh darah. Meskipun arsenik dalam dosis rendah tidak menyebabkan kanker, paparan jangka panjang dengan dosis tinggi dapat memicu masalah kesehatan serius, meskipun efek non-karsinogenik lebih dominan. Ketidakpastian dalam penentuan dosis yang tepat juga dapat mempengaruhi estimasi paparan yang aman, dan faktor ketidakpastian digunakan untuk mengakomodasi variasi dalam reaksi individu terhadap arsenik. Oleh karena itu, meskipun arsenik bukan penyebab kanker pada dosis rendah, efek non-karsinogeniknya tetap signifikan dan

memerlukan perhatian dalam pengelolaan risiko kesehatan (Tseng, 1977; Cebrian dkk., 1983; U.S. EPA, 1990). Untuk nilai dari RQ pada konsumsi bagian badan dan kepala ikan masai pada data *default* dan data *real* dapat dilihat pada **Tabel 4.14**

Tabel 4. 14 Rekapitulasi Nilai RQ Arsenik Untuk Konsumsi Daging dan Kepala Ikan

Nilai RQ untuk daging dan kepala							
No.	Lokasi	Nilai <i>Default</i>			Nilai Real		
		Intake As	RQ	Keterangan	Intake As	RQ	Keterangan
1	Tambang Pasir & Emas	0,00007	1,08583	Berisiko	0,0000054	0,09040	Tidak Berisiko
2	Pemukiman	0,00009	1,43260	Berisiko	0,0000071	0,11927	Tidak Berisiko
3	PDAM	0,00005	0,78874	Tidak Berisiko	0,0000039	0,06567	Tidak Berisiko
4	PLTU	0,00006	1,08060	Berisiko	0,0000054	0,08997	Tidak Berisiko
5	Bekas Tambang Batubara	0,00002	0,41268	Tidak Berisiko	0,0000020	0,03436	Tidak Berisiko

Sumber: Analisa Penulis (2025)

Pada Tambang Pasir & Emas, nilai *default* menunjukkan RQ 1,08583, yang mengindikasikan risiko kesehatan yang signifikan. Namun, nilai real yang terukur adalah 0,09040, yang jauh lebih rendah dan menunjukkan bahwa risiko kesehatan akibat konsumsi ikan dari lokasi ini tidak signifikan. Di Pemukiman, nilai *default* menunjukkan RQ 1,43260, yang juga menunjukkan risiko tinggi. Namun, nilai real yang terukur adalah 0,11927, menurunkan risiko kesehatan secara signifikan dan berada di bawah ambang batas risiko. Pada PDAM, nilai *default* menunjukkan RQ 0,78874, yang tergolong tidak berisiko, sementara nilai real yang terukur adalah 0,06567, jauh lebih rendah dan menunjukkan bahwa konsumsi ikan dari lokasi ini sangat aman. Di PLTU, nilai *default* menunjukkan RQ 1,08060, yang menandakan potensi risiko kesehatan. Namun, nilai real yang terukur adalah 0,08997, yang menunjukkan bahwa risiko kesehatan dari konsumsi ikan di lokasi ini dapat dianggap tidak signifikan. Terakhir, pada Bekas Tambang Batubara, nilai *default* menunjukkan RQ 0,41268, yang menandakan tidak ada risiko tinggi. Data real yang terukur menunjukkan RQ 0,03436, yang menunjukkan tidak ada risiko kesehatan yang berarti. Nilai dari RQ pada konsumsi seluruh bagian ikan masai pada data *default* dan data *real* dapat dilihat pada **Tabel 4.15**

Tabel 4. 15 Rekapitulasi Nilai RQ Arsenik Untuk Konsumsi Seluruh Bagian Ikan

Nilai RQ untuk Seluruh Bagian Ikan							
No.	Lokasi	Nilai Default			Nilai Real		
		Intake As	RQ	Keterangan	Intake As	RQ	Keterangan
1	Tambang Pasir & Emas	0,00016	2,677	Berisiko	0,0000133	0,222	Tidak Berisiko
2	Pemukiman	0,00025	4,193	Berisiko	0,0000209	0,349	Tidak Berisiko
3	PDAM	0,00016	2,638	Berisiko	0,0000131	0,219	Tidak Berisiko
4	PLTU	0,00023	3,774	Berisiko	0,0000188	0,314	Tidak Berisiko
5	Bekas Tambang Batubara	0,00004	0,704	Tidak Berisiko	0,0000035	0,058	Tidak Berisiko

Sumber: Analisa Penulis (2025)

Pada Tambang Pasir & Emas, nilai *default* menunjukkan RQ sebesar 2,677, yang menunjukkan potensi risiko kesehatan yang signifikan. Namun, nilai real yang terukur di lapangan menunjukkan RQ sebesar 0,222, yang jauh lebih rendah dan menunjukkan bahwa konsumsi ikan dari lokasi ini tidak berisiko secara signifikan. Di Pemukiman, nilai *default* menunjukkan RQ sebesar 4,193, yang juga menunjukkan risiko kesehatan yang tinggi. Namun, nilai real yang terukur menunjukkan RQ sebesar 0,349, yang menurunkan risiko kesehatan secara signifikan, bahkan berada di bawah ambang batas risiko. Pada PDAM, nilai *default* menunjukkan RQ sebesar 2,638, yang menandakan potensi risiko kesehatan, tetapi nilai real yang terukur menunjukkan RQ sebesar 0,219, yang jauh lebih rendah dan menunjukkan bahwa konsumsi ikan dari lokasi ini sangat aman. Di PLTU, nilai *default* menunjukkan RQ sebesar 3,774, yang mengindikasikan potensi risiko kesehatan. Namun, nilai real yang terukur menunjukkan RQ sebesar 0,314, yang jauh lebih rendah dan menunjukkan bahwa risiko kesehatan akibat konsumsi ikan dari lokasi ini dapat dianggap tidak signifikan. Terakhir, pada Bekas Tambang Batubara, nilai *default* menunjukkan RQ sebesar 0,704, yang menunjukkan bahwa konsumsi ikan dari lokasi ini tidak menimbulkan risiko kesehatan yang tinggi. Data real yang terukur menunjukkan RQ sebesar 0,058, yang menunjukkan tidak ada risiko kesehatan yang berarti. Secara keseluruhan, meskipun nilai *default* menunjukkan potensi risiko, data real yang diperoleh di lapangan menunjukkan bahwa konsumsi ikan dari lokasi-lokasi ini tidak menimbulkan risiko kesehatan yang signifikan.

4.6.4.2 Risiko Karsinogenik

Risiko karsinogenik berkaitan dengan potensi zat berbahaya, dalam hal ini arsenik

(As), yang dapat menyebabkan kanker pada manusia setelah paparan jangka panjang. Pada subbab ini, analisis risiko karsinogenik dilakukan dengan menggunakan Estimasi *Carcinogenic Risk* (ECR) untuk mengevaluasi potensi kanker yang ditimbulkan oleh konsumsi ikan masai (*Mystacoleucus marginatus*) yang terkontaminasi arsenik. Arsenik, yang termasuk dalam kategori karsinogen golongan 1, memiliki kemampuan untuk memicu berbagai jenis kanker, terutama kanker kulit, jika terpapar dalam jumlah tertentu selama periode waktu yang lama. Perhitungan ECR bertujuan untuk menentukan apakah paparan arsenik melalui konsumsi ikan masai di lokasi penelitian melebihi ambang batas yang aman dan berpotensi meningkatkan risiko kanker bagi masyarakat yang mengonsumsinya. Analisis ini sangat penting untuk memahami dampak jangka panjang dari paparan arsenik terhadap kesehatan manusia, khususnya bagi konsumen ikan yang terkontaminasi. Untuk nilai dari ECR pada konsumsi bagian badan dan kepala ikan masai dapat dilihat pada **Tabel 4.16**

Tabel 4. 16 Rekapitulasi Nilai ECR Arsenik Untuk Konsumsi Bagian Daging dan Kepala Ikan

Nilai ECR untuk daging dan kepala							
No.	Lokasi	Nilai Default			Nilai Real		
		Intake As	ECR	Keterangan	Intake As	ECR	Keterangan
1	Tambang Pasir & Emas	0,00003	0,0008	Berisiko	0,0000023	0,00007	Tidak Berisiko
2	Pemukiman	0,00004	0,0011	Berisiko	0,0000030	0,00009	Tidak Berisiko
3	PDAM	0,00002	0,0006	Berisiko	0,0000016	0,00005	Tidak Berisiko
4	PLTU	0,00003	0,0008	Berisiko	0,0000023	0,00007	Tidak Berisiko
5	Bekas Tambang Batubara	0,00001	0,0003	Berisiko	0,0000008	0,00002	Tidak Berisiko

Sumber: Analisa Penulis (2025)

Pada Tambang Pasir & Emas, nilai *default* menunjukkan ECR sebesar 0,0008, yang menandakan paparan yang cukup tinggi terhadap arsenik di lokasi tersebut. Namun, berdasarkan pengukuran lapangan, nilai real menunjukkan ECR yang jauh lebih rendah yaitu 0,00007, yang menunjukkan paparan arsenik yang sangat rendah dan tidak berisiko. Di Pemukiman, nilai *default* menunjukkan ECR 0,0011, yang juga menunjukkan tingkat paparan yang tinggi. Tetapi, data real menunjukkan ECR sebesar 0,00009, yang menurunkan paparan secara signifikan, mengindikasikan tidak ada risiko yang berarti. Pada PDAM, nilai *default* menunjukkan ECR 0,0006, sedangkan nilai real di lapangan menunjukkan ECR 0,00015, yang juga

menunjukkan paparan yang jauh lebih rendah dan aman. Di PLTU, nilai *default* menunjukkan ECR 0,0003, yang menandakan adanya paparan arsenik, namun pengukuran lapangan menunjukkan ECR sebesar 0,00002, yang menunjukkan bahwa paparan arsenik di lokasi ini sangat minim. Terakhir, pada Bekas Tambang Batubara, nilai *default* menunjukkan ECR 0,0003, namun nilai real menunjukkan ECR sebesar 0,00002, yang menunjukkan paparan yang sangat rendah.

Secara keseluruhan, meskipun nilai *default* menunjukkan tingkat paparan arsenik yang lebih tinggi, pengukuran real di lapangan menunjukkan bahwa paparan arsenik pada ikan dari lokasi-lokasi tersebut sangat rendah dan tidak berisiko bagi kesehatan. Ini menegaskan pentingnya menggunakan data real untuk menilai tingkat paparan yang lebih akurat dan memberikan gambaran yang lebih aman mengenai risiko kesehatan lingkungan. Untuk nilai dari ECR pada konsumsi semua bagian ikan masai dapat dilihat pada **Tabel 4.17**

Tabel 4. 17 Rekapitulasi Nilai ECR Arsenik Untuk Konsumsi Seluruh Bagian Ikan

Nilai RQ untuk Seluruh Bagian Ikan							
No.	Lokasi	Nilai Default			Nilai Real		
		Intake As	ECR	Keterangan	Intake As	ECR	Keterangan
1	Tambang Pasir & Emas	0,00007	0,0022	Berisiko	0,0000057	0,00018	Berisiko
2	Pemukiman	0,00011	0,0034	Berisiko	0,0000089	0,00029	Berisiko
3	PDAM	0,00007	0,0021	Berisiko	0,0000056	0,00018	Berisiko
4	PLTU	0,00010	0,0031	Berisiko	0,0000080	0,00026	Berisiko
5	Bekas Tambang Batubara	0,00002	0,0005	Berisiko	0,0000015	0,00005	Tidak Berisiko

Sumber: Analisa Penulis (2025)

Pada Tambang Pasir & Emas, nilai *default* menunjukkan ECR sebesar 0,0022, yang mengindikasikan adanya paparan arsenik yang cukup tinggi. Namun, berdasarkan pengukuran lapangan, nilai real menunjukkan ECR yang jauh lebih rendah yaitu 0,00018, yang menunjukkan paparan yang sangat rendah dan tidak berisiko. Di Pemukiman, nilai *default* menunjukkan ECR sebesar 0,0034, yang juga menunjukkan tingkat paparan yang cukup tinggi. Tetapi, data real menunjukkan ECR sebesar 0,00029, yang menurunkan paparan secara signifikan dan menunjukkan tidak ada risiko yang berarti. Pada PDAM, nilai *default* menunjukkan

ECR sebesar 0,0021, sementara nilai real di lapangan menunjukkan ECR sebesar 0,00018, yang juga menurunkan tingkat paparan arsenik secara signifikan. Di PLTU, nilai *default* menunjukkan ECR sebesar 0,0031, yang menunjukkan adanya paparan arsenik, tetapi nilai real yang terukur menunjukkan ECR sebesar 0,00026, yang menunjukkan bahwa paparan arsenik di lokasi ini sangat rendah. Terakhir, pada Bekas Tambang Batubara, nilai *default* menunjukkan ECR 0,0005, yang cukup rendah, namun pengukuran lapangan menunjukkan ECR sebesar 0,00015, yang menunjukkan bahwa paparan arsenik sangat minim.

Secara keseluruhan, meskipun nilai *default* menunjukkan paparan arsenik yang cukup tinggi, data real yang diperoleh di lapangan menunjukkan bahwa paparan arsenik pada ikan dari lokasi-lokasi tersebut sangat rendah dan tidak berisiko bagi kesehatan.

4.6.5 Pengelolaan Risiko

Pengelolaan risiko merupakan langkah penting dalam upaya mengurangi potensi dampak negatif dari paparan logam berat, seperti timbal (Pb) dan arsenik (As), terhadap kesehatan manusia. Pada subbab ini, dibahas berbagai strategi dan tindakan yang dapat diterapkan untuk mengendalikan risiko kesehatan yang diidentifikasi melalui analisis risiko non-karsinogenik dan karsinogenik pada konsumsi ikan masai (*Mystacoleucus marginatus*).

4.6.5.1 Penentuan Batas Aman

Batas aman di sini merujuk pada batas atau nilai terendah yang menyebabkan tingkat risiko menjadi tidak aman (tidak dapat diterima). Oleh karena itu, nilai yang aman adalah nilai yang berada di bawah batas aman tersebut, sementara nilai yang sama dengan batas aman akan menyebabkan tingkat risiko menjadi tidak aman.

1. Penentuan Konsentrasi Aman (C)

Dalam penentuan konsentrasi aman semua variabel dan nilai yang digunakan sama dengan variabel dan nilai pada perhitungan *intake*. Berikut adalah nilai dari C_k dan C_{nk} untuk tiap lokasi ada pada **Tabel 4.18** dibawah ini

Tabel 4. 18 Nilai Dari Ck Dan Cnk Untuk Tiap Lokasi

No.	Lokasi	Data Default		Data Real
		Ck As (mg/gram)	Cnk As (mg/gram)	Ck As (mg/gram)
1	Tambang Pasir & Emas			
2	Pemukiman			
3	PDAM	0,0000077	0,000064	0,0000883
4	PLTU			
5	Bekas Tambang Batubara			

Sumber: Analisa Penulis (2025)

Berdasarkan tabel di atas, nilai konsentrasi aman As ditinjau dari aspek karsinogenik (Ck) dan non-karsinogenik (Cnk) menunjukkan adanya perbedaan tingkat toleransi yang harus diperhatikan dalam analisis risiko kesehatan. Nilai Ck As (0,0000077 mg/gram) lebih rendah dibandingkan dengan Cnk As (0,000064 mg/gram). Hal ini mengindikasikan bahwa ambang batas aman arsen untuk risiko karsinogenik jauh lebih ketat dibandingkan dengan risiko non-karsinogenik. Secara toksikologi, arsen diketahui sebagai logam berat dengan potensi karsinogen tinggi, sehingga batas konsentrasi aman yang diperbolehkan bagi tubuh pada jalur karsinogenik ditetapkan sangat kecil. Sebaliknya, nilai Cnk yang lebih tinggi mencerminkan bahwa tubuh manusia relatif masih dapat mentoleransi paparan arsen dalam jumlah tertentu tanpa menimbulkan efek kesehatan non-kanker. Apabila dibandingkan dengan data *real* yang diperoleh dari penelitian lapangan, yaitu 0,0000883 mg/gram, terlihat bahwa konsentrasi arsen aktual telah melampaui baik nilai Ck maupun Cnk. Kondisi ini menunjukkan bahwa konsumsi ikan masai dari lokasi penelitian berpotensi menimbulkan risiko kesehatan, baik berupa efek karsinogenik maupun non-karsinogenik. Dengan demikian, hasil ini mempertegas pentingnya upaya pengendalian pencemaran logam berat di perairan Sungai Batang Ombilin serta pembatasan konsumsi ikan masai oleh masyarakat agar tidak melebihi batas aman yang ditetapkan.

2. Penentuan Jumlah Konsumsi Aman (R)

Penentuan jumlah konsumsi aman (R) merupakan langkah penting dalam

mengevaluasi paparan logam berat melalui jalur konsumsi makanan dan air (ingesti). Proses ini bertujuan untuk menentukan batas aman konsumsi suatu zat berbahaya, seperti Pb dan As, dengan mempertimbangkan dosis aman yang tidak menimbulkan efek kesehatan negatif. Untuk risiko non-karsinogenik, jumlah konsumsi aman dihitung dengan rumus yang mengacu pada nilai reference dose (RfD), berat badan individu (Wb), dan waktu rata-rata paparan (tavg). Sedangkan untuk risiko karsinogenik, jumlah konsumsi aman dihitung menggunakan rumus yang melibatkan *slope factor* (SF), konsentrasi logam berat (C), frekuensi pajanan (fE), dan durasi pajanan (Dt), serta memperhitungkan periode paparan jangka panjang. Untuk nilai dari Rnk dan Rk ikan masai dapat dilihat pada **Tabel 4.19**

Tabel 4. 19 nilai dari Rnk dan Rk ikan masai Untuk Tiap Lokasi

No.	Lokasi	Data Default				Data Real	
		Kepala dan Daging (gram)		Semua Bagian (gram)		Kepala dan Daging (gram)	Semua Bagian (gram)
		Rk As	Rnk As	Rk As	Rnk As	Rk As	Rk As
1	Tambang Pasir & Emas	6,04	49,73	2,45	20,17	7,14	2,90
2	Pemukiman	4,58	37,69	1,57	12,88	5,41	1,85
3	PDAM	8,32	68,46	2,49	20,47	9,83	2,94
4	PLTU	6,07	49,97	1,74	14,31	7,18	2,05
5	Bekas Tambang Batubara	15,90	130,85	9,32	76,70	18,79	11,02

Sumber: Analisa Penulis (2025)

Berdasarkan data yang disajikan dalam tabel, Pada data *default*, lokasi Bekas Tambang Batubara menunjukkan nilai Rnk dan Rk tertinggi untuk kedua kategori konsumsi ikan. Nilai Rnk untuk kepala dan daging ikan tercatat 49,73 gram, sementara Rk mencapai 130,85 gram. Untuk seluruh bagian ikan, Rnk adalah 2,45 gram dan Rk sebesar 9,32 gram. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun konsumsi ikan di lokasi ini masih bisa lebih banyak dari konsumsi ikan di lokasi lainnya. Sebaliknya, Pemukiman memiliki nilai Rnk dan Rk terendah di antara semua lokasi. Nilai Rnk untuk kepala dan daging ikan adalah 37,69 gram, sedangkan Rk hanya 5,41 gram. Untuk seluruh bagian ikan, Rnk tercatat 1,57 gram dan Rk sebesar 1,85 gram. Ini menunjukkan bahwa konsumsi ikan dari pemukiman relatif lebih rendah, dan perlu pengawasan terkait paparan logam berat.

Pada data real, pola yang serupa terlihat, dengan Bekas Tambang Batubara tetap menunjukkan nilai Rnk dan Rk tertinggi. Nilai Rnk untuk kepala dan daging ikan

adalah 18,79 gram, sementara Rk adalah 7,18 gram. Untuk seluruh bagian ikan, Rnk tercatat 11,02 gram dan Rk sebesar 2,05 gram. Meskipun ada penurunan pada nilai Rnk dan Rk dibandingkan dengan data *default*. Di sisi lain, Pemukiman menunjukkan nilai Rnk dan Rk terendah pada data real. Nilai Rnk untuk kepala dan daging ikan adalah 5,41 gram, sementara Rk tercatat 5,41 gram juga. Pada seluruh bagian ikan, Rnk adalah 1,85 gram dan Rk sebesar 2,94 gram.

4.6.5.2 Penapisan Alternatif Pengelolaan Risiko

Penapisan alternatif pengelolaan risiko merupakan langkah penting dalam mengevaluasi dan merumuskan solusi guna mengurangi atau mengelola potensi risiko yang dihadapi oleh masyarakat akibat konsumsi ikan yang terkontaminasi logam berat. Pada subbab ini, dibahas berbagai alternatif yang dapat diterapkan untuk mengurangi paparan logam berat, seperti timbal (Pb) dan arsenik (As), yang terdapat dalam ikan masai (*Mystacoleucus marginatus*). Beberapa alternatif pengelolaan risiko yang dibahas meliputi penggunaan teknologi pengolahan air untuk mengurangi konsentrasi logam berat di perairan, penggunaan metode pengolahan ikan yang dapat menurunkan kadar logam berat, serta pemberian edukasi kepada masyarakat terkait cara mengurangi risiko kesehatan. Pendekatan pengelolaan risiko yang efektif dapat membantu melindungi kesehatan masyarakat dan mencegah terjadinya dampak jangka panjang yang berbahaya. Subbab ini juga akan mengevaluasi kemungkinan penerapan kebijakan pengelolaan lingkungan dan perikanan yang lebih ketat, serta pemantauan berkelanjutan terhadap kualitas perairan dan hasil perikanan di Sungai Batang Ombilin. Berikut ini pendekatan yang dapat dilakukan dapat dilihat pada **Tabel 4.20** Berikut

Tabel 4. 20 Pengelolaan Risiko Dengan Beberapa Pendekatan

Alternatif Pendekatan	Pengelolaan Risiko
Teknologi	Perendaman ikan masai menggunakan Filtrat Tomat dapat menurunkan konsentrasi Timbal (Pb) pada ikan (Azmi & Winarsi, 2021). Serta Perendaman ikan masai menggunakan larutan kitosan dapat menurunkan konsentrasi Arsenik (As) pada ikan (Murtini Dkk, 2004).
	Mengadakan sosialisasi terhadap bahaya Arsenik dan Timbal jika terkonsumsi kepada
Sosial-Ekonomi	

	masyarakat
Institusional	Melakukan pengujian secara berkala oleh Dinas Kesehatan Kota Sawahlunto terhadap ikan masai yang dijual di Kota Sawahlunto

4.6.6 Komunikasi Risiko

Komunikasi risiko merupakan tahap akhir dari ARKL. Tahap ini bertujuan untuk menyampaikan solusi dan risiko yang dapat diterima masyarakat akibat agen risiko sehingga terbentuk sikap pengertian. Hal utama yang harus dilakukan ialah dengan menyampaikan efek yang ditimbulkan akibat paparan Arsenik (As) dan Timbal (Pb) pada konsumsi ikan masai yang terakumulasi logam tersebut. Komunikasi risiko yang dapat diterapkan kepada masyarakat sesuai permasalahan pada penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 4.21**

Tabel 4. 21 Alternatif Pendekatan Pada Komunikasi Risiko

Komunikasi Risiko	Alternatif Pendekatan
Dinas Pangan Kota Sawahlunto	Melakukan pengawasan keamanan pangan secara berkala dan pengawasan mutu pangan
Pedagang Ikan masai	Melakukan proses pemilihan sumber pemasok ikan masai dan melakukan survei mengenai kualitas ikan masai
Konsumen Ikan masai	Sosialisasi terkait efek yang dapat ditimbulkan akibat adanya As dan Pb dalam tubuh manusia yang mungkin masuk melalui konsumsi makanan mengandung logam berat

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

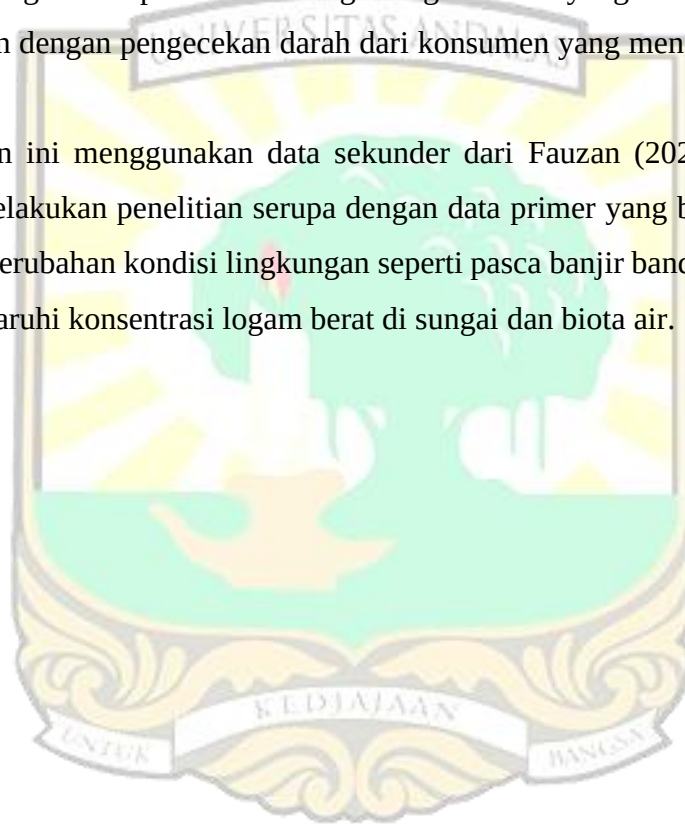
Kesimpulan yang dapat dirangkum dari penelitian yang dilakukan yaitu sebagai berikut:

1. Pola konsumsi ikan masai oleh masyarakat Kota Sawahlunto cenderung jarang, dengan rata-rata konsumsi 2 kali per bulan, 24 kali per tahun. Rata-rata berat konsumsi per hari adalah 5,362 gram. Mayoritas responden (72%) hanya mengonsumsi bagian daging ikan, sementara 28% mengonsumsi seluruh bagian ikan (termasuk kepala dan isi perut).
2. Berdasarkan hasil analisis risiko Kesehatan dengan data *default* logam berat timbal (Pb) dan arsenik (As) terhadap konsumen ikan masai di Sawahlunto, paparan Pb masih dapat diterima untuk semua pola konsumsi ikan. Namun, paparan As berpotensi menyebabkan kanker, dengan nilai ECR yang tercatat lebih besar dari 1×10^{-4} di semua lokasi.. Pada data *real* untuk logam berat Pb tidak menimbulkan risiko kesehatan, tetapi untuk As dapat menimbulkan risiko kanker
3. Nilai Metal Pollution Index (MPI) tertinggi ditemukan di Pemukiman sebesar 0.4 dan PLTU sebesar 0.3, Nilai ini terbilang cukup aman tetapi masih perlu dilakukan pengawasan berkala.
4. Bekas Tambang Batubara menunjukkan konsumsi yang paling tinggi untuk batas aman, baik pada data *real* maupun *default*. Dengan batas aman konsumsi ikan masai sebesar 43,77 gram/hari.
5. Pengelolaan risiko konsumsi ikan masai yang terkontaminasi logam berat dapat dilakukan melalui tiga pendekatan. Teknologi meliputi perendaman ikan dengan filtrat tomat dan larutan kitosan untuk mengurangi timbal (Pb) dan arsenik (As). Sosial-ekonomi berfokus pada sosialisasi kepada masyarakat tentang bahaya logam berat dalam ikan. Institusional mencakup pengujian berkala oleh Dinas Kesehatan Kota Sawahlunto untuk memastikan keamanan ikan yang dijual.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian di atas, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan, yaitu sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya bisa memperluas penelitian dengan menganalisis konsumsi ikan lain selain ikan masai, yang mungkin juga terkontaminasi logam berat.
2. Penelitian berikutnya dapat berfokus pada parameter sedimen yang berpotensi memiliki cemaran kandungan logam berat.
3. Untuk pengecekan potensi kandungan logam berat yang lebih akurat dapat dilakukan dengan pengecekan darah dari konsumen yang mengonsumsi ikan masai
4. Penelitian ini menggunakan data sekunder dari Fauzan (2024). Disarankan untuk melakukan penelitian serupa dengan data primer yang baru, mengingat adanya perubahan kondisi lingkungan seperti pasca banjir bandang yang dapat memengaruhi konsentrasi logam berat di sungai dan biota air.



DAFTAR PUSTAKA

- Abbasi, A., & Mirekhtiary, S. F. (2019). Risk assessment due to various terrestrial radionuclides concentrations scenarios. *International Journal of Radiation Biology*, 95(2), 179–185.
- Badan Pusat Statistik. (2023). *Pola Konsumsi Makanan Penduduk Provinsi Sumatera Barat 2023*.
- Bimantoro, S. (2022). *ANALISIS RISIKO LOGAM BERAT Pb, Hg DAN As PADA DAGING IKAN NILA (Oreochromis niloticus) TERHADAP KESEHATAN MASYARAKAT DI DANAU MANINJAU PROVINSI SUMATERA BARAT*. Universitas Andalas.
- Dawud, M., Namara, I., Chayati, N., Lt, F. M., Sipil, T., Khaldun, I., Bogor, J. K., Sholeh Iskandar, K. M., Badak, K., Sareal, T., & Bogor, K. (2016). *ANALISIS SISTEM PENGENDALIAN PENCEMARAN AIR SUNGAI CISADANE KOTA TANGERANG BERBASIS MASYARAKAT*.
- Dirjen P2PL. (2012). *Pedoman Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (Guidance 95 on Environmental Health Risk Analysis)*. Direktorat Jenderal PP dan PL Kementerian Kesehatan.
- Effendi, H. (2000). *Telaahan Kualitas Air*. IPB.
- Eko K. P. (2020). *Penentuan Tingkat Pencemaran Logam Berat Kromium (Cr) Dan Kadmium (Cd) Pada Hati Dan Insang Ikan Sebagai Biomarker Di Sungai Way Belau Bandar Lampung*.
- Fajar Purnama, M., & Suprihanto, A. (2025). Penilaian Kualitas Lingkungan Perairan Berbasis Bioindikator (Gastropoda) di Area Dampak Pertambangan Nikel Kecamatan Pomalaa, Sulawesi Tenggara. *JPII*, 2(6), 359–370. <https://doi.org/10.14710/jpii.2024.24930>
- Fauzan, A. (2024). *BIOMONITORING LOGAM BERAT (As, Pb, Hg dan Cd) PADA IKAN MASAI (Mystacoleucus marginatus) DAN AIR DI SUNGAI BATANG OMBILIN SAWAHLUNTO*. Andalas University.
- Fikadu, W., Mulugeta, S., & Dejene, Y. (2024). Validation of food frequency questionnaire for food intake of adults in Gida, West, Ethiopia. *Frontiers in Public Health*.
- Husamah, S., Abdulkadir, & Rahardjanto. (2019). *Bioindikator (Teori dan Aplikasi*

- dalam Biomonitoring*). <http://ummpress.umm.ac.id>
- J. Usero, E. Gonzales-Regalado, & I. Gracia. (1997). Trace metals in the bivalve molluscs *Ruditapes decussatus* and *Ruditapes philippinarum* from the Atlantic coast of Southern Spain. *Environ. Int.*, 23(3), 291–298.
- Kusumadiani, T. A., Redjeki, S., & Yulianto, B. (2024). Kajian Tingkat Timbal (Pb) di Perairan Pantai Semarang: Studi Kasus pada Kerang Darah. *Journal of Marine Research*, 13(3), 502–510. <https://doi.org/10.14710/jmr.v13i3.39367>
- Lancôt, C., Wilson, S. P., Fabbro, L., Leusch, F. D. L., & Melvin, S. D. (2016). Comparative sensitivity of aquatic invertebrate and vertebrate species to wastewater from an operational coal mine in central Queensland, Australia. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 129, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.03.003>
- Leonard, F., Wahyuni, & Hasanuddin. (2024). IDENTIFIKASI RISIKO PENCEMARAN AIR LIMBAH DOMESTIK. *JURNAL MEDIA TEKNIK SIPIL*, 2(1).
- Maduwu, F. D. A. (2019). Studi Biodeversitas Ikan Air Tawar Di Sungai Gewa Sebagai Indikator Kesehatan Lingkungan. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Keguruan*, 1(1), 9–25.
- Maksuk. (2009). KADAR ARSENIK DALAM AIR SUNGAI, SEDIMEN, AIR SUMUR DAN URIN PADA KOMUNITAS DI DAERAH ALIRAN SUNGAI MUSIPROVINSI SUMATERA SELATAN TAHUN 2009. *Jurnal Kesehatan Poltekkes Palembang*.
- Meydiyati, Y., Puryanti, D., & Budiman, A. (2018). Identifikasi Pencemaran Air Sungai Batang Ombilin dari Nilai Total Dissolved Solid, Konduktivitas Listrik dan Kandungan Logam Berat. *Jurnal Fisika Unand*, 7(3), 202–207. <https://doi.org/10.25077/jfu.7.3.202-207.2018>
- Muhtaroh, N., Hidayat, J. W., & Muhammad, F. (2024). Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Seng (Zn) pada Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Perairan Pantai Kelurahan Mangunharjo Kota Semarang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(3), 600–608. <https://doi.org/10.14710/jil.22.3.600-608>
- Nurfatimah. (2023). POTENSI PENCEMARAN LINGKUNGAN AKIBAT AKTIVITAS PERTAMBANGAN PADA KAWASAN INDUSTRI KAB.

- Peterson RK. (2006). Comparing ecological risks of pesticides: the utility of a Risk Quotient ranking approach across refinements of exposure. *Pest Manag Sci*, 1, 46–56.
- Pirdaus, P., Rahman, M., Luh Gede Ratna Juliasih, N., & Pratama, D. (2018). VERIFIKASI METODE ANALISIS LOGAM Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Co, Fe, Mn DAN Ba PADA AIR MENGGUNAKAN INDUCTIVLY COUPLED PLASMA-OPTICAL EMISSION SPECTROMETER(ICP-OES). *In Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 3(1).
- Purba, I., Izmiarti, & Solfiyeni. (2015). Komunitas Algae Epilitik Sebagai Indikator Biologis Di Sungai Batang Ombilin, Sumatera Barat. *Jurnal Biologi Universitas Andalas (J. Bio. UA.)*, 4(2), 138–144.
- Qureshi, A. A., Tariq, S., Din, K. U., Manzoor, S., Calligaris, C., & Waheed, A. (2014). Evaluation of excessive lifetime cancer risk due to natural radioactivity in the rivers sediments of Northern Pakistan. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 7(4), 438–447. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2014.07.008>
- Raj, K., & Das, A. (2023). Lead pollution: Impact on environment and human health and approach for a sustainable solution. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 5. <https://doi.org/10.1016/j.enceco.2023.02.001>
- Resetar-Deac, A. M. , & D. E. (2015). Assessment of aquatic environment contamination with heavy metals from abandoned mines of northwestern Romania. *Revista de Chimie*, 1535–1539.
- Sugiester S, F., Firmansyah, Y. W., Widiyantoro, W., Fuadi, M. F., Afrina, Y., & Hardiyanto, A. (2021). DAMPAK PENCEMARAN SUNGAI DI INDONESIA TERHADAP GANGGUAN KESEHATAN : LITERATURE REVIEW. *Jurnal Riset Kesehatan Poltekkes Depkes Bandung*, 13(1), 120–133. <https://doi.org/10.34011/juriskesbdg.v13i1.1829>
- Suryani, L., Rizka, B., & Ulfah, M. (2022). ANALISIS FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI POLA KONSUMSI MAHASISWA FAKULTAS EKONOMI UNIZAR MATARAM Analysis Of Factors Affecting Consumption Patterns Of Students Faculty Of Economics, UNIZAR

Mataram. *Nusantara Hasana Journal*, 2(2), 109–116.

Tanjung, R. H. R., Indrayani, E., Agamawan, L. P. I., & Hamuna, B. (2025). Ecological and human health risks assessment related to heavy metals in surface sediments and some fish species in Lake Sentani, Indonesia. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 11. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2025.101148>

Tyler, C. R., & Allan, A. M. (2014). The Effects of Arsenic Exposure on Neurological and Cognitive Dysfunction in Human and Rodent Studies: A Review. In *Current environmental health reports* (Vol. 1, Issue 2, pp. 132–147). Springer. <https://doi.org/10.1007/s40572-014-0012-1>

U.S. Environmental Protection Agency. (2023). *Technical overview of ecological risk assessment: Risk characterization*. U.S. Environmental Protection Agency.





LAMPIRAN A

KUESIONER PENELITIAN

KUESIONER

ANALISIS POLA KONSUMSI IKAN MASAI (*Mystacoleucus marginatus*) MASYARAKAT KOTA SAWAHLUNTO DAN RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN PAJANAN TIMBAL (Pb) DAN ARSEN (As)

Assalamualaikum Wr.Wb

Perkenalkan saya M. Farras Zhafran (2110947006) mahasiswa Progr Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Andalas Padang yang sedang melakukan penelitian mengenai “Analisis Pola Konsumsi Ikan masai (*Mystacoleucus marginatus*) Masyarakat Kota Sawahlunto Dan Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Timbal (Pb) Dan Arsen (As)”. Penelitian ini saya lakukan sebagai syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik Lingkungan.

Oleh sebab itu, saya meminta bantuan Bapak/Ibu untuk menjadi responden dalam penelitian ini. Saya sangat mengharapkan kesediaan waktu Bapak/Ibu untuk dapat saya wawancarai serta bersedia untuk dilakukan pengukuran berat badan.

Atas perhatian dan kerjasamanya, saya ucapkan terimakasih.

Wassalamualaikum Wr.Wb

Pewawancara

.....

(Tanda tangan/ Nama jelas)

Pewawancara

.....

(Tanda tangan/ Nama jelas)

Pewawancara

.....

(Tanda tangan/ Nama jelas)

I. Data umum :

- a. Nama :
- b. Umur :
- c. Pekerjaan :
- d. Jenis Kelamin
 - 1. Laki-laki
 - 2. Perempuan

e. Status Perkawinan....

- 1. Sudah Menikah
- 2. Lajang

II. Jenis Ikan Yang Dikonsumsi :

III. Variabel Antropometri dan Pola Aktivitas

- a. Berat Badan (Wb) : kg
- b. Sejak usia berapa mengkonsumsi ikan masai ; tahun
- c. Frekuensi Konsumsi (fE)

	Satu hari (kali)	Satu minggu (kali)	Satu bulan (kali)	Satu Hari (gr) (R)
Konsumsi ikan masai				

IV. Kuesioner untuk konsumen ikan masai

No.	Daftar Pertanyaan
1.	Seberapa sering Anda mengonsumsi ikan masai dalam sebulan? a. Sangat jarang (kurang dari sekali sebulan) b. Jarang (sekali atau dua kali sebulan) c. Kadang-kadang (3-4 kali sebulan) d. Sering (lebih dari 4 kali sebulan) e. Sangat sering (setiap minggu)
2.	Bagian mana dari ikan masai yang biasa Anda konsumsi? a. Daging b. Kepala

	c. Isi perut d. Semua bagian
3.	Di mana Anda biasanya membeli ikan masai? a. Pasar tradisional b. Supermarket c. Langsung dari nelayan d. Warung atau pedagang kaki lima e. Lainnya: _____
4.	Apakah Anda mengetahui asal-usul ikan masai yang Anda konsumsi? a. Tidak tahu sama sekali b. Tahu sedikit c. Tahu, tapi tidak pasti d. Tahu dengan jelas e. Sangat tahu dan percaya pada sumbernya
5.	Seberapa banyak ikan masai yang Anda konsumsi dalam sehari? a. Kurang dari 50 gram b. 50 - 100 gram c. 100 - 150 gram d. 150 - 200 gram e. Lebih dari 200 gram
6.	Apakah Anda mengetahui bahwa ikan dapat terkontaminasi dengan logam berat seperti timbal (Pb) dan arsenik (As)? a. Sangat tahu dan memperhatikannya b. Tahu dengan baik c. Tahu sedikit d. Tahu, tapi tidak terlalu peduli e. Tidak tahu sama sekali
7.	Jika Anda tahu, apakah Anda pernah mendengar tentang dampak kesehatan dari konsumsi ikan yang terkontaminasi timbal (Pb) atau arsenik (As)? a. Sangat tahu b. Tahu dengan baik

	c. Tahu Sedikit d. Tahu Tapi Tidak Peduli e. Tidak tahu sama sekali
8.	Apakah Anda pernah mendengar atau membaca tentang kontaminasi logam berat di Sungai Batang Ombilin yang dapat mempengaruhi ikan masai? a. Sangat tahu b. Tahu dengan baik c. Tahu Sedikit d. Tahu Tapi Tidak Peduli e. Tidak tahu sama sekali
9.	Sejauh mana Anda mengetahui tentang dampak logam berat pada ikan yang dikonsumsi? a. Sangat tahu b. Tahu dengan baik c. Tahu Sedikit d. Tahu Tapi Tidak Peduli e. Tidak tahu sama sekali

The logo of Universitas Andalas is a shield-shaped emblem. At the top, a banner reads "UNIVERSITAS ANDALAS". The central part of the shield features a green tree with a red flame-like shape at its base, set against a yellow sunburst background. Below the tree, a banner reads "KEDJAJAAN". At the bottom of the shield, two banners read "UNTAR" on the left and "BANGSA" on the right.

LAMPIRAN B
UJI VALIDITAS DAN
RELIABILITAS KUESIONER

Lampiran B.1 Hasil Uji Validitas Kuesioner

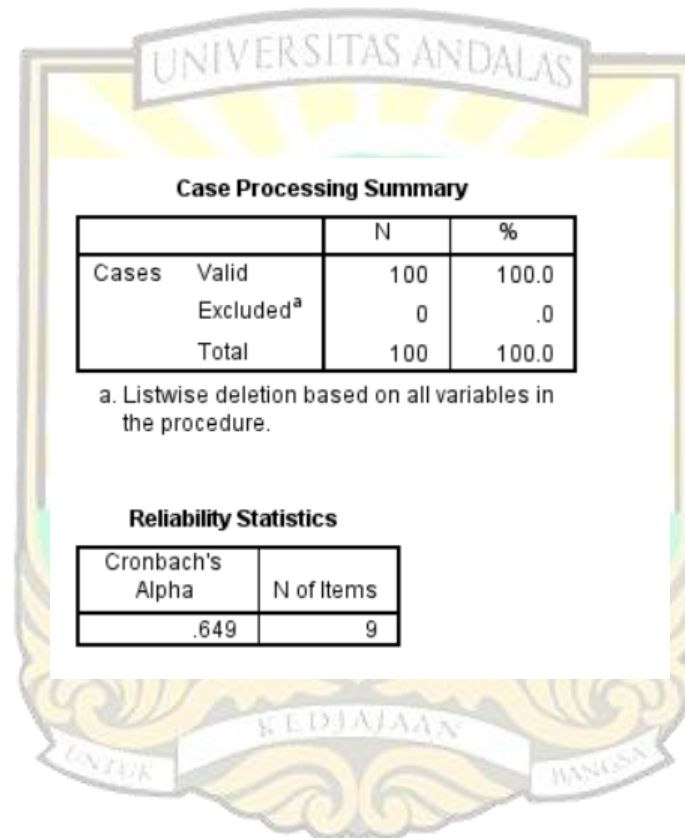
Correlations

		K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	TOTAL
K1	Pearson Correlation	1	.106	.031	-.070	.133	.284**	.377**	.303**	.350**	.557**
	Sig. (2-tailed)		.292	.756	.488	.186	.004	.000	.002	.000	.000
	N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
K2	Pearson Correlation	.106	1	.115	.305**	.518**	.428**	.140	-.321**	.181	.542**
	Sig. (2-tailed)	.292		.256	.002	.000	.000	.164	.001	.071	.000
	N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
K3	Pearson Correlation	.031	.115	1	.492**	.056	.107	.287**	.157	.146	.479**
	Sig. (2-tailed)	.756	.256		.000	.583	.288	.004	.120	.148	.000
	N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
K4	Pearson Correlation	-.070	.305**	.492**	1	.094	.180	.110	-.106	.001	.401**
	Sig. (2-tailed)	.488	.002	.000		.351	.074	.278	.293	.993	.000
	N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
K5	Pearson Correlation	.133	.518**	.056	.094	1	.262**	.477**	-.283**	-.030	.469**
	Sig. (2-tailed)	.186	.000	.583	.351		.008	.000	.004	.763	.000
	N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
K6	Pearson Correlation	.284**	.428**	.107	.180	.262**	1	.400**	.181	.396**	.676**
	Sig. (2-tailed)	.004	.000	.288	.074	.008		.000	.071	.000	.000
	N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
K7	Pearson Correlation	.377**	.140	.287**	.110	.477**	.400**	1	.236*	.219*	.694**
	Sig. (2-tailed)	.000	.164	.004	.278	.000	.000		.018	.029	.000
	N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
K8	Pearson Correlation	.303**	-.321**	.157	-.106	-.283**	.181	.236*	1	.354**	.337**
	Sig. (2-tailed)	.002	.001	.120	.293	.004	.071	.018		.000	.001
	N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
K9	Pearson Correlation	.350**	.181	.146	.001	-.030	.396**	.219*	.354**	1	.535**
	Sig. (2-tailed)	.000	.071	.148	.993	.763	.000	.029	.000		.000
	N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
TOTAL	Pearson Correlation	.557**	.542**	.479**	.401**	.469**	.676**	.694**	.337**	.535**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.001	.000	
	N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Lampiran B.2 Hasil Uji Realibilitas Kuesioner



Lampiran B.3 Data Karakteristik Responden

Data Karakteristik Responden								
No	Nama	Umur	Jenis Kelamin	Pekerjaan	Pendidikan	Berat badan	Berat badan fix	Status Perkawinan
1	Tn. S	2	1	1	3	83	1	1
2	Ny. D	1	2	3	1	69	1	2
3	Tn. S	2	1	2	2	75	1	1
4	Ny. R	3	2	1	2	87	1	1
5	Ny. E	2	2	5	1	84	1	1
6	Tn. RS	1	1	3	1	55	2	1
7	Tn. Y	2	1	2	2	75	1	1
8	Tn. J	2	1	3	1	64	1	1
9	Tn. T	1	1	3	2	64	1	1
10	Ny. S	2	2	5	2	69	1	1
11	Tn.R	1	1	3	0	66	1	2
12	Tn. R	2	1	5	1	80	1	1
13	Tn. R	1	1	2	2	73	1	1
14	Ny. YS	1	2	5	3	66	1	1
15	Tn. A	1	1	1	2	69	1	1
16	Tn. H	1	1	2	1	68	1	2
17	Tn. M	2	1	1	2	80	1	1
18	Tn. C	2	1	3	1	63	1	1
19	Ny. J	2	2	3	2	68	1	1
20	Tn. R	3	1	5	1	57	1	1
21	Tn. T	2	1	5	2	40	2	1
22	Tn. H	1	1	2	1	72	1	2
23	Tn. J	3	1	5	2	74	1	1
24	Tn. R	2	1	4	1	58	1	1
25	Tn. F	2	1	3	1	88	1	1

Data Karakteristik Responden								
No	Nama	Umur	Jenis Kelamin	Pekerjaan	Pendidikan	Berat badan	Berat badan fix	Status Perkawinan
26	Tn. S	2	1	5	2	51	2	1
27	Tn. Z	2	1	5	1	66	1	1
28	Tn. M	2	1	3	1	63	1	1
29	Tn. S	2	1	3	1	80	1	1
30	Tn. S	2	1	5	1	80	1	1
31	Tn. A	2	1	6	2	67	1	2
32	Tn. E	2	1	1	2	69	1	1
33	Tn. M	2	1	6	0	56	1	1
34	Tn. T	2	1	5	1	45	2	1
35	Tn. E	2	1	4	2	62	1	1
36	Tn. SS	2	1	6	3	67	1	1
37	Tn JS	1	1	6	1	77	1	2
38	Tn. A	2	1	1	3	77	1	1
39	Tn. R	2	1	5	1	61	1	1
40	Ny. Y	2	2	5	2	62	1	1
41	Tn. S	2	1	6	1	55	2	1
42	Ny. F	2	2	3	1	51	2	1
43	Tn. Y	2	1	6	1	48	2	2
44	Tn. S	2	1	5	2	85	1	1
45	Ny. A	2	2	6	1	60	1	1
46	Tn. D	2	1	3	4	61	1	1
47	Ny. AMY	2	2	6	1	53	2	1
48	Tn. DV	2	1	3	0	73	1	1
49	Tn. AD	2	1	5	2	49	2	1
50	Ny. D	2	2	1	1	63	1	1
51	Tn. E	2	1	5	2	56	1	1

Data Karakteristik Responden

No	Nama	Umur	Jenis Kelamin	Pekerjaan	Pendidikan	Berat badan	Berat badan fix	Status Perkawinan
52	Tn. HF	2	1	3	1	69	1	2
53	Tn. YW	2	1	5	1	60	1	1
54	Tn. D	2	1	5	2	53	2	2
55	Tn. OS	1	1	4	1	65	1	2
56	Tn. RS	2	1	5	2	69	1	1
57	Tn. RI	2	1	6	1	66	1	1
58	Tn. RES	2	1	1	1	68	1	1
59	Tn. HI	2	1	5	2	59	1	1
60	Tn. WAS	2	1	3	1	61	1	1
61	Ny. T	2	2	5	3	58	1	1
62	Tn. R	2	1	1	1	61	1	1
63	Tn. D	2	1	2	1	57	1	1
64	Tn. DD	2	1	6	1	48	2	1
65	Tn. J	2	1	5	1	67	1	2
66	Tn. N	2	1	6	2	61	1	1
67	Tn. S	2	1	5	1	49	2	1
68	Tn. HS	2	1	2	1	70	1	1
69	Tn. AA	2	1	5	4	56	1	1
70	Ny. H	2	2	6	1	66	1	1
71	Tn. RH	2	1	4	2	72	1	1
72	Tn. AS	2	1	5	1	66	1	1
73	Tn. Z	2	1	3	3	76	1	1
74	Ny. T	2	2	2	1	53	2	2
75	Tn. E	2	1	6	3	69	1	1
76	Tn. Z	2	1	1	1	58	1	1
77	Tn. E	2	1	5	1	56	1	1

Data Karakteristik Responden								
No	Nama	Umur	Jenis Kelamin	Pekerjaan	Pendidikan	Berat badan	Berat badan fix	Status Perkawinan
78	Tn. HC	2	1	1	3	59	1	1
79	Tn. I	2	1	2	2	62	1	1
80	Ny. I	2	2	3	4	66	1	1
81	Tn. H	2	1	2	1	53	2	1
82	Tn. R	1	1	5	2	74	1	2
83	Tn. SR	2	1	5	2	70	1	1
84	Tn. BC	2	1	4	1	50	2	1
85	Tn. SN	2	1	4	2	80	1	1
86	Tn. T	2	1	2	2	84	1	1
87	Ny. H	2	2	5	1	77	1	2
88	Tn. YI	2	1	2	1	63	1	1
89	Tn. JE	2	1	2	1	54	2	1
90	Tn. UDA	2	1	6	1	76	1	1
91	Tn. S	2	1	5	2	61	1	1
92	Tn. TS	2	1	5	3	77	1	1
93	Tn. BP	2	1	5	1	67	1	1
94	Ny. S	2	2	5	2	75	1	2
95	Tn. RA	1	1	5	1	69	1	2
96	Tn. EBD	2	1	2	1	72	1	1
97	Ny. I	2	2	5	2	65	1	1
98	Tn. G	2	1	6	2	83	1	1
99	Tn. M	2	1	4	1	66	1	1
100	Ny. R	2	2	5	1	69	1	1



LAMPIRAN C

PERHITUNGAN DATA

Lampiran C.1 Hasil Perhitungan *Metal Pollution Index* (MPI)

Lokasi	Konsentrasi				MPI
	As	Pb	Hg	Cd	
Tambang Pasir Dan Emas	0,07	0,09	0,04	0,04	0,1
Pemukiman	0,09	0,10	0,14	0,12	0,1
PDAM	0,05	0,02	0,08	0,02	0,0
PLTU	0,07	0,05	0,13	0,12	0,1
Bekas Tambang Batubara	0,03	0,05	0,02	0,08	0,0

Lampiran C.2 Contoh Perhitungan *Metal Pollution Index* (MPI) pada Lokasi Tambang Pasir dan Emas

$$MPI = (CM1 \times CM2 \times \dots \times CMn)^{1/n}$$

$$MPI = (0,07 \times 0,09 \times 0,04 \times 0,04)^{1/4}$$

$$MPI = 0,05=0,1$$





Lampiran C.4 Hasil Perhitungan ARKL non karsinogenik dengan data *default* tiap lokasi

Tambang dan emas												
Untuk Daging dan Kepala Saja												
Logam	Konsentrasi	R gram/hari	Fe hari/tahun	Dt tahun	Hasil 1	Wb	t avg hari	Hasil 2	Intake	Rfd	Hasil RQ	Interpretasi
As	0,069	0,054	350	30	39,2	55	10950	602250	0,00007	0,00006	1,086	> 1
PB	0,089	0,054	350	30	50,5	55	10950	602250	0,00008	0,0036	0,023	< 1
Permukiman												
Logam	Konsentrasi	R gram/hari	Fe hari/tahun	Dt tahun	Hasil 1	Wb	t avg hari	Hasil 2	Intake	Rfd	Hasil RQ	Interpretasi
As	0,091	0,054	350	30	51,8	55	10950	602250	0,00009	0,00006	1,433	> 1
PB	0,103	0,054	350	30	58,4	55	10950	602250	0,00010	0,0036	0,027	< 1
PDAM												
Logam	Konsentrasi	R gram/hari	Fe hari/tahun	Dt tahun	Hasil 1	Wb	t avg hari	Hasil 2	Intake	Rfd	Hasil RQ	Interpretasi
As	0,050	0,054	350	30	28,5	55	10950	602250	0,00005	0,00006	0,789	< 1
PB	0,024	0,054	350	30	13,6	55	10950	602250	0,00002	0,0036	0,006	< 1
PLTU												
Logam	Konsentrasi	R gram/hari	Fe hari/tahun	Dt tahun	Hasil 1	Wb	t avg hari	Hasil 2	Intake	Rfd	Hasil RQ	Interpretasi
As	0,069	0,054	350	30	39,0	55	10950	602250	0,00006	0,00006	1,081	> 1
PB	0,051	0,054	350	30	28,9	55	10950	602250	0,00005	0,0036	0,013	< 1

Logam	Konsentrasi	R gram/hari	Fe hari/tahun	Dt tahun	Hasil 1	Wb	t avg hari	Hasil 2	Intake	Rfd	Hasil RQ	Interpretasi
As	0,045	0,054	350	30	25,4	55	10950	602250	0,00004	0,00006	0,704	< 1
PB	0,293	0,054	350	30	165,9	55	10950	602250	0,00028	0,0036	0,077	< 1

Lampiran C.5 Hasil Perhitungan ARKL karsinogenik dengan data *default* tiap lokasi

Tambang dan emas												
Untuk Daging dan Kepalas Saja (dibuat perlokasi perhitungan ARKL)												
Logam	Konsentrasi	R gram/hari	Fe hari/tahun	Dt tahun	Hasil 1	Wb	t avg hari	Hasil 2	Intake	SF	Hasil ECR	Interpretasi
As	0,069	0,054	350	30	39,2	55	25550	1405250	0,00003	32	8,93E-04	unacceptable
Permukiman												
Logam	Konsentrasi	R gram/hari	Fe hari/tahun	Dt tahun	Hasil 1	Wb	t avg hari	Hasil 2	Intake	SF	Hasil ECR	Interpretasi
As	0,091	0,054	350	30	51,8	55	25550	1405250	0,00004	32	1,179E-03	unacceptable
PDAM												
Logam	Konsentrasi	R gram/hari	Fe hari/tahun	Dt tahun	Hasil 1	Wb	t avg hari	Hasil 2	Intake	SF	Hasil ECR	Interpretasi
As	0,050	0,054	350	30	28,5	55	25550	1405250	0,00002	32	6,490E-04	unacceptable
PLTU												
Logam	Konsentrasi	R gram/hari	Fe hari/tahun	Dt tahun	Hasil 1	Wb	t avg hari	Hasil 2	Intake	SF	Hasil ECR	Interpretasi
As	0,069	0,054	350	30	39,0	55	25550	1405250	0,00003	32	8,892E-04	unacceptable
Bekas Tambang Batu Bara												
Logam	Konsentrasi	R gram/hari	Fe hari/tahun	Dt tahun	Hasil 1	Wb	t avg hari	Hasil 2	Intake	SF	Hasil ECR	Interpretasi
As	0,026	0,054	350	30	14,9	55	25550	1405250	0,00001	32	3,396E-04	unacceptable

Lampiran C.6 Hasil Perhitungan ARKL non karsinogenik dengan data *real* tiap lokasi

Tambang dan emas												
Untuk Daging dan Kepala Saja												
Logam	Konsentrasi	R gram/hari	Fe hari/tahun	Dt tahun	Hasil 1	Wb	t avg hari	Hasil 2	Intake	Rfd	Hasil RQ	Interpretasi
As	0,069	0,005362	350	30	3,9	65,599	10950	718309,1	0,00001	0,00006	0,090	< 1
PB	0,089	0,005362	350	30	5,0	65,599	10950	718309,1	0,00001	0,0036	0,002	< 1
Permukiman												
Logam	Konsentrasi	R gram/hari	Fe hari/tahun	Dt tahun	Hasil 1	Wb	t avg hari	Hasil 2	Intake	Rfd	Hasil RQ	Interpretasi
As	0,091	0,005362	350	30	5,1	65,599	10950	718309,1	0,00001	0,00006	0,119	< 1
PB	0,103	0,005362	350	30	5,8	65,599	10950	718309,1	0,00001	0,0036	0,002	< 1
PDAM												
Logam	Konsentrasi	R gram/hari	Fe hari/tahun	Dt tahun	Hasil 1	Wb	t avg hari	Hasil 2	Intake	Rfd	Hasil RQ	Interpretasi
As	0,050	0,005362	350	30	2,8	65,599	10950	718309,1	0,00000	0,00006	0,066	< 1
PB	0,024	0,005362	350	30	1,3	65,599	10950	718309,1	0,00000	0,0036	0,001	< 1
PLTU												
Logam	Konsentrasi	R gram/hari	Fe hari/tahun	Dt tahun	Hasil 1	Wb	t avg hari	Hasil 2	Intake	Rfd	Hasil RQ	Interpretasi
As	0,069	0,005362	350	30	3,9	65,599	10950	718309,1	0,00001	0,00006	0,090	< 1
PB	0,051	0,005362	350	30	2,9	65,599	10950	718309,1	0,00000	0,0036	0,001	< 1
Bekas Tambang Batu Bara												
Logam	Konsentrasi	R gram/hari	Fe hari/tahun	Dt tahun	Hasil 1	Wb	t avg hari	Hasil 2	Intake	Rfd	Hasil RQ	Interpretasi
As	0,026	0,005362	350	30	1,5	65,599	10950	718309,1	0,00000	0,00006	0,034	< 1
PB	0,050	0,005362	350	30	2,8	65,599	10950	718309,1	0,000004	0,0036	0,001	< 1

Tambang dan emas												
Untuk Semua Bagian												
Logam	Konsentrasi	R gram/hari	Fe hari/tahun	Dt tahun	Hasil 1	Wb	t avg hari	Hasil 2	Intake	Rfd	Hasil RQ	Interpretasi
As	0,171	0,005362	350	30	9,6	65,599	10950	718309,1	0,00001	0,00006	0,223	< 1
PB	0,212	0,005362	350	30	12,0	65,599	10950	718309,1	0,00002	0,0036	0,005	< 1
Permukiman												
Logam	Konsentrasi	R gram/hari	Fe hari/tahun	Dt tahun	Hasil 1	Wb	t avg hari	Hasil 2	Intake	Rfd	Hasil RQ	Interpretasi
As	0,267	0,005362	350	30	15,0	65,599	10950	718309,1	0,00002	0,00006	0,349	< 1
PB	0,347	0,005362	350	30	19,6	65,599	10950	718309,1	0,00003	0,0036	0,008	< 1
PDAM												
Logam	Konsentrasi	R gram/hari	Fe hari/tahun	Dt tahun	Hasil 1	Wb	t avg hari	Hasil 2	Intake	Rfd	Hasil RQ	Interpretasi
As	0,168	0,005362	350	30	9,5	65,599	10950	718309,1	0,00001	0,00006	0,220	< 1
PB	0,071	0,005362	350	30	4,0	65,599	10950	718309,1	0,00001	0,0036	0,002	< 1
PLTU												
Logam	Konsentrasi	R gram/hari	Fe hari/tahun	Dt tahun	Hasil 1	Wb	t avg hari	Hasil 2	Intake	Rfd	Hasil RQ	Interpretasi
As	0,241	0,005362	350	30	13,5	65,599	10950	718309,1	0,00002	0,00006	0,314	< 1
PB	0,256	0,005362	350	30	14,4	65,599	10950	718309,1	0,00002	0,0036	0,006	< 1
Bekas Tambang Batu Bara												
Logam	Konsentrasi	R gram/hari	Fe hari/tahun	Dt tahun	Hasil 1	Wb	t avg hari	Hasil 2	Intake	Rfd	Hasil RQ	Interpretasi
As	0,045	0,005362	350	30	2,5	65,599	10950	718309,1	0,00000	0,00006	0,059	< 1
PB	0,293	0,005362	350	30	16,5	65,599	10950	718309,1	0,00002	0,0036	0,006	< 1

Lampiran C.7 Hasil Perhitungan ARKL karsinogenik dengan data *real* tiap lokasi

Tambang dan emas												
Untuk Daging dan Kepala Saja												
Logam	Konsentrasi	R gram/hari	Fe hari/tahun	Dt tahun	Hasil 1	Wb	t avg hari	Hasil 2	Intake	SF	Hasil ECR	Interpretasi
As	0,069	0,005362	350	30	3,9	65,599	25550	1676054	0,0000023	32	7,439E-05	acceptable
Permukiman												
Logam	Konsentrasi	R gram/hari	Fe hari/tahun	Dt tahun	Hasil 1	Wb	t avg hari	Hasil 2	Intake	SF	Hasil ECR	Interpretasi
As	0,091	0,005362	350	30	5,1	65,599	25550	1676054	0,0000031	32	9,814E-05	acceptable
PDAM												
Logam	Konsentrasi	R gram/hari	Fe hari/tahun	Dt tahun	Hasil 1	Wb	t avg hari	Hasil 2	Intake	SF	Hasil ECR	Interpretasi
As	0,050	0,005362	350	30	2,8	65,599	25550	1676054	0,0000017	32	5,403E-05	acceptable
PLTU												
Logam	Konsentrasi	R gram/hari	Fe hari/tahun	Dt tahun	Hasil 1	Wb	t avg hari	Hasil 2	Intake	SF	Hasil ECR	Interpretasi
As	0,069	0,005362	350	30	3,9	65,599	25550	1676054	0,0000023	32	7,403E-05	acceptable
Bekas Tambang Batu Bara												
Logam	Konsentrasi	R gram/hari	Fe hari/tahun	Dt tahun	Hasil 1	Wb	t avg hari	Hasil 2	Intake	SF	Hasil ECR	Interpretasi
As	0,026	0,005362	350	30	1,5	65,599	25550	1676054	0,0000009	32	2,827E-05	acceptable

Tambang dan emas												
Untuk Semua Bagian												
Logam	Konsentrasi	R gram/hari	Fe hari/tahun	Dt tahun	Hasil 1	Wb	t avg hari	Hasil 2	Intake	SF	Hasil ECR	Interpretasi
As	0,171	0,005362	350	30	9,6	65,599	25550	1676054	0,00001	32	1,834E-04	unacceptable
Permukiman												
Logam	Konsentrasi	R gram/hari	Fe hari/tahun	Dt tahun	Hasil 1	Wb	t avg hari	Hasil 2	Intake	SF	Hasil ECR	Interpretasi
As	0,267	0,005362	350	30	15,0	65,599	25550	1676054	0,00001	32	2,873E-04	unacceptable
PDAM												
Logam	Konsentrasi	R gram/hari	Fe hari/tahun	Dt tahun	Hasil 1	Wb	t avg hari	Hasil 2	Intake	SF	Hasil ECR	Interpretasi
As	0,168	0,005362	350	30	9,5	65,599	25550	1676054	0,00001	32	1,807E-04	unacceptable
PLTU												
Logam	Konsentrasi	R gram/hari	Fe hari/tahun	Dt tahun	Hasil 1	Wb	t avg hari	Hasil 2	Intake	SF	Hasil ECR	Interpretasi
As	0,241	0,005362	350	30	13,5	65,599	25550	1676054	0,00001	32	2,586E-04	unacceptable
Bekas Tambang Batu Bara												
Logam	Konsentrasi	R gram/hari	Fe hari/tahun	Dt tahun	Hasil 1	Wb	t avg hari	Hasil 2	Intake	SF	Hasil ECR	Interpretasi
As	0,045	0,005362	350	30	2,5	65,599	25550	1676054	0,00000	32	4,823E-05	acceptable

The logo of Universitas Andalas is a shield-shaped emblem. At the top, a banner reads "UNIVERSITAS ANDALAS". The central part of the shield features a green tree with a red flame-like shape at its base, set against a yellow sunburst background. Below the tree is a green field. The bottom of the shield is decorated with ornate yellow scrollwork. A banner at the very bottom contains the text "UNTAR KEDJAJAAN BANGSA".

LAMPIRAN D

DOKUMENTASI PENELITIAN



Wawancara Dengan Konsumen Di Sekitaran Sungai Batang Ombilin



Wawancara Dengan Konsumen Di Sekitaran Pasar Talawi Kota Sawahlunto



Wawancara Dengan Penjual Ikan masai Di Sekitaran Pasar Talawi Kota Sawahlunto



Diskusi Dengan Dinas Lingkungan Hidup Kota Sawahlunto



Dokumentasi Penambangan Pasir Ilegal Kota Sawahlunto



Dokumentasi Pemancing Ikan masai di Danau Kandi Kota Sawahlunto



LAMPIRAN E

PEDOMAN TERKAIT

PEDOMAN ANALISIS RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN (ARKL)



DIREKTORAT JENDERAL PP DAN PL
KEMENTERIAN KESEHATAN
TAHUN 2012

KATA PENGANTAR

Determinasi kualitas lingkungan terhadap status kesehatan masyarakat sangat dominan selain faktor lain seperti perilaku, pelayanan kesehatan, dan keturunan. Pembangunan kesehatan di Indonesia tidak akan berhasil tanpa adanya penyehatan lingkungan dan pengendalian faktor risiko.

Analisis Dampak Kesehatan Lingkungan (ADKL) yang telah dikenal oleh masyarakat merupakan suatu pendekatan guna mengkaji, dan/atau menelaah secara mendalam untuk mengenal, memahami, dan memprediksi kondisi dan karakteristik lingkungan yang berpotensi terhadap timbulnya risiko kesehatan dengan mengembangkan tatalaksana sumber perubahan media lingkungan, masyarakat terpajan dan dampak yang terjadi.

Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) merupakan sebuah pendekatan untuk menghitung atau memprakirakan risiko pada kesehatan manusia, termasuk identifikasi terhadap adanya faktor ketidakpastian, penelusuran pada pajanan tertentu, memperhitungkan karakteristik yang melekat pada agen yang menjadi perhatian dan karakteristik dari sasaran yang spesifik. Jika ADKL difokuskan untuk potensi timbulnya risiko kesehatan baik secara kualitatif maupun kuantitatif, ARKL lebih ditujukan untuk mengkaji secara kuantitatif probabilitas terjadinya gangguan kesehatan.

Penggunaan ARKL bersamaan dengan ADKL secara benar diharapkan dapat menjadi dasar dalam melakukan upaya penyehatan lingkungan. ARKL ini tidak hanya ditujukan untuk petugas kesehatan saja tetapi juga seluruh pemangku kepentingan.

Petunjuk teknis ARKL ini merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari Keputusan Menteri Kesehatan No. 876 Tahun 2001 tentang Pedoman Teknis Analisis Dampak Kesehatan Lingkungan.

Disadari bahwa petunjuk teknis ini masih memerlukan perbaikan sesuai dengan kebutuhan. Untuk itu, kritik dan saran sesuai dengan perkembangan ilmu dan teknologi sangat diharapkan. Pada kesempatan ini juga kami sampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang terlibat dalam penyusunan materi hingga terbitnya petunjuk teknis ini.

Jakarta, 2012
Direktur Jenderal PP dan PL,

Prof. dr. Rendra Yoga Aditama
NIP. 195509031980121001

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
TIM PENYUSUN	iii
PENDAHULUAN	4
1.1 Latar Belakang.....	4
1.2 Tujuan	6
1.3 Sasaran	7
1.4 Ruang Lingkup.....	7
PRINSIP ARKL.....	8
2.1. Riwayat analisis risiko dan berbagai macam penggunaannya.....	8
2.2. Paradigma analisis risiko	10
2.3. Agen risiko, paparan, dosis dan dampak	14
2.4. Terminologi analisis risiko	15
METODE ARKL.....	18
3.1. Jenis dan penggunaan ARKL	18
3.2 Langkah - langkah ARKL.....	18
3.2.1. Langkah 1 : Identifikasi bahaya (hazard identification).....	19
3.2.2. Langkah 2 : Analisis dosis - respon (dose-response assessment).....	21
3.2.3. Langkah 3 : Analisis paparan (exposure assessment)	24
3.2.4. Langkah 4 : Karakterisasi risiko (risk characterization).....	28
3.2.5. Pengelolaan risiko.....	30
3.2.6. Komunikasi risiko	35
DAFTAR PUSTAKA.....	37
Contoh soal 1: ARKL pada udara ambien	38
Contoh soal 2: ARKL pada air.....	41
Contoh soal 3: ARKL pada makanan	45
Contoh soal 4: ARKL agen risiko karsinogenik	50
Cara mencari <i>RfD</i> , <i>RfC</i> , <i>SF</i> pada situs www.epa.gov/iris	55

TIM PENYUSUN :

- Drs. Nanang Besmanto, M.Si (Subdit Penyehatan Perumahan dan Tempat Umum)
- Dra. Cucu Cakrawati, M.Kes (Subdit Pengamanan Limbah, Udara dan Radiasi)
- Ahmad Rizal, SKM, M.Epid (BBTKL PPM Jakarta)
- Sofwan, ST, MM (Subdit Pengamanan Limbah, Udara dan Radiasi)
- Heri Nugroho, ST, M.Kes (BBTKL PPM Jakarta)
- Dr. Carolina R. Akib (Subdit Pengamanan Limbah, Udara dan Radiasi)
- Tengku Nazly, ST (Subdit Pengamanan Limbah, Udara dan Radiasi)
- Didi Purnama, SKM (BBTKL PPM Jakarta)
- Astri Syativa, SKM (Subdit Pengamanan Limbah, Udara dan Radiasi)
- Diah Prabaninggrum, SKM (Subdit Pengamanan Limbah, Udara dan Radiasi)
- Nurlaila, SKM (Subdit Pengamanan Limbah, Udara dan Radiasi)

BAB 3

METODE ARKL

3.1. Jenis dan penggunaan ARKL

Ada dua jenis ARKL yang dapat digunakan yaitu, kajian ARKL cepat atau kajian di atas meja (*desktop studi*) dan kajian lapangan (*field study*) tergantung sumber data yang digunakan. ARKL diatas meja tidak menggunakan data lapangan tetapi menggunakan nilai-nilai *default*, rekomendasi dan/atau asumsi, sedangkan kajian lapangan dilakukan dengan pengukuran langsung kualitas lingkungan, paparan (frekuensi, durasi), dan data antropometri (berat badan). Perbedaan antara kedua jenis ARKL tersebut dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Perbandingan antara ARKL *desktop* dan *field*

VARIABEL	<i>Desktop;</i>	<i>field</i>
Sumber data yang digunakan	Data Sekunder dan asumsi/nilai default	Data primer (data yang dikumpulkan sendiri) dan asumsi jika dibutuhkan
Waktu pelaksanaan	Seketika saat dibutuhkan ; durasi lebih singkat.	Perlu perencanaan dan pengorganisasian ; durasi lebih lama
Besarnya biaya yang dibutuhkan	Sangat sedikit atau tidak ada	Biaya besar (biaya seperti melakukan suatu penelitian / kajian lapangan)

ARKL sebagai suatu cara ‘tools’ atau pendekatan dapat diaplikasikan untuk berbagai keperluan. Penggunaan ARKL pada berbagai kebutuhan dapat dilihat pada tabel 2 di bawah ini :

Tabel 2 Penggunaan dari masing - masing model ARKL

Jenis Kegiatan / Kebutuhan	‘desktop’ ARKL	Kajian ARKL
Analisis suatu kasus kesehatan lingkungan : (<i>Emergency Responses</i>)	✓	-
Analisis suatu kasus kesehatan lingkungan : (<i>Reformation Responses</i>)	-	✓
Penyusunan AMDAL suatu kegiatan dan atau usaha : Kajian ANDAL, dan penyusunan RKL - RPL	✓	-
Pengkajian, penyusunan, dan penetapan baku mutu	-	✓
engkajian, penyusunan, dan penetapan kebijakan kesehatan lingkungan yang baru	-	✓

3.2 Langkah – langkah ARKL

Pada bab sebelumnya, pelaksanaan ARKL meliputi empat langkah yaitu: identifikasi bahaya,

analisis dosis - respon, analisis pemajanan, dan karakterisasi risiko namun untuk pemahaman yang lebih komprehensif, pedoman teknis ini juga menguraikan/menjelaskan langkah-langkah pengelolaan dan komunikasi risiko sebagai tindak lanjut dari ARKL. Sehingga nantinya diharapkan dapat memberikan

petunjuk teknis yang lengkap dalam melakukan analisis dan tindak lanjut dari ARKL. Selain itu, perumusan masalah juga perlu dilakukan sebelum memasuki langkah - langkah ARKL.

Perumusan masalah yang dilakukan sebelum melakukan langkah - langkah ARKL dimaksudkan untuk dapat **menjawab** pertanyaan **apa, dimana, berapa besar, kapan, siapa populasi berisiko, dan bagaimana kepedulian masyarakat (populasi berisiko)**. Rumusan masalah ini akan digunakan sebagai latar belakang mengapa suatu agen risiko perlu dianalisis risiko, dan akan dimasukkan ke dalam laporan. Uraian apa yang harus dijawab untuk merumuskan masalah dapat dilihat pada tabel 3 di bawah ini :

Tabel 3 Uraian langkah perumusan masalah

Pertanyaan	Uraian
– Apa yang menjadi masalah :	Media lingkungan yang terkena dampak, jenis kegiatan yang menjadi sumber dampak, jenis polutan apa yang potensial
– Dimana masalah itu terjadi :	Wilayah administrasi, wilayah geografi, batas sosial, batas ekologis.
– Seberapa besar masalahnya :	Prevalensi penyakit terkait lingkungan, konsentrasi agen risiko pada media lingkungan, jumlah populasi yang potensial terkena.
– Kapan masalah terjadi :	Hari, bulan, tahun, dan durasi (lamanya) masalah berlangsung.
– Siapa populasi berisiko	Kelompok masyarakat yang potensial terkena : golongan umur, kelompok berdasarkan tempat tinggal, pekerjaan, dan komunitas tertentu (komunitas hobi, komunitas adat, dll).
– Bagaimana kepedulian masyarakat :	Deskripsi aksi protes masyarakat, opini / pendapat masyarakat dan tokoh masyarakat, pandangan pakar, respon instansi yang berwenang menangani masalah tersebut (program / rencana program kerja terkait penanganan masalah).

3.2.1. Langkah 1 : Identifikasi bahaya (hazard identification)

Identifikasi bahaya merupakan langkah pertama dalam ARKL yang digunakan untuk **mengetahui secara spesifik agen risiko** apa yang berpotensi **menyebabkan gangguan kesehatan** bila tubuh terpajan. Sebagai pelengkap dalam identifikasi bahaya dapat ditambahkan gejala - gejala gangguan kesehatan apa yang terkait erat dengan agen risiko yang akan dianalisis. Tahapan ini harus menjawab pertanyaan *agen risiko spesifik apa yang berbahaya, di media lingkungan yang mana agen risiko eksisting, seberapa besar kandungan/konsentrasi agen risiko di media lingkungan, gejala kesehatan apa yang potensial*. Uraian apa yang harus dijawab dalam identifikasi bahaya dapat dilihat pada tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4 Uraian langkah identifikasi bahaya

Pertanyaan	Uraian
<i>Agen risiko spesifik apa yang berbahaya :</i>	Agen risiko bahan kimia jelaskan spesi atau senyawa kimia apa yang berbahaya secara jelas. Contoh: Merkuri (Hg) jelaskan apakah agen risiko berupa elemental mercury, anorganic mercury, atau organic mercury (methyl mercury). Agen risiko biologi jelaskan spesiesnya.
<i>Di media lingkungan yang mana agen risiko eksisting :</i>	Jelaskan media lingkungan dimana agen risiko eksisting ; apakah di udara ambien, air, tanah, <i>sludge</i> , biota, hewan, dll. Contoh : jika merkuri sebagai agen risiko, maka media lingkungan yang terkontaminasi antara lain air bersih, sludge (jika pada pertambangan emas rakyat), ataupun di hewan (ikan yang dikonsumsi).

Pertanyaan	Uraian
Seberapa besar kandungan/konsentrasi agen risiko di media lingkungan :	Jelaskan konsentrasi hasil pengukurannya di media lingkungan.
Gejala kesehatan apa yang potensial :	Uraikan gejala kesehatan / gangguan kesehatan apa yang dapat terkait dengan agen risiko. Contoh : jika merkuri sebagai agen risiko maka gejala/gangguan kesehatan yang mungkin timbul antara lain, tremor, gemetaran pada saat berdiri, pusing pada saat berdiri, rasa nyeri pada tangan dan kaki, dan gangguan pada susunan saraf pusat

Untuk membantu dalam melakukan identifikasi bahaya dapat digunakan contoh formulir sebagaimana pada tabel 5 di bawah ini :

Tabel 5 Contoh formulir bantu identifikasi bahaya

Sumber dan penggunaan	Media lingkungan potensial	Agen Risiko	Konsentrasi		
			Minimal	Rata - rata	Maksimal
Pertambangan mineral (emas, tembaga, perak dll)	Air permukaan (sungai, danau)	Merkuri Anorganik, Total Merkuri	– Merkuri Anorganik : mg/l – Total Merkuri : mg/l	– Merkuri Anorganik : mg/l – Total Merkuri : mg/l	– Merkuri Anorganik : mg/l – Total Merkuri : mg/l
	Lumpur (tailing)	Metil Merkuri, Merkuri Anorganik, Total Merkuri	Disesuaikan dengan agen risikonya	Disesuaikan dengan agen risikonya	Disesuaikan dengan agen risikonya
	• Tanaman (buah, sayur, umbi)	Metil Merkuri, Merkuri Anorganik, Total Merkuri	Disesuaikan dengan agen risikonya	Disesuaikan dengan agen risikonya	Disesuaikan dengan agen risikonya
	• Air tanah (sumur)	Merkuri Anorganik, Total Merkuri	Disesuaikan dengan agen risikonya	Disesuaikan dengan agen risikonya	Disesuaikan dengan agen risikonya
	• Udara	Total Merkuri	Disesuaikan dengan agen risikonya	Disesuaikan dengan agen risikonya	Disesuaikan dengan agen risikonya
Pertambangan fosil (batu bara, minyak bumi)	• Biota air (ikan, kerang, dsb)	Metil Merkuri	Disesuaikan dengan agen risikonya	Disesuaikan dengan agen risikonya	Disesuaikan dengan agen risikonya
	• Udara				
Pengolahan aki	bekas				

Sumber dan penggunaan	Media lingkungan potensial	Agen Risiko	Konsentrasi		
			Minimal	Rata - rata	Maksimal
Industri elektronika	• Air tanah	Disesuaikan dengan literatur yang ada	Disesuaikan dengan agen risikonya	Disesuaikan dengan agen risikonya	Disesuaikan dengan agen risikonya
	• Udara	Disesuaikan dengan literatur yang ada	Disesuaikan dengan agen risikonya	Disesuaikan dengan agen risikonya	Disesuaikan dengan agen risikonya
	• Air permukaan (dari limbah cair)	Disesuaikan dengan literatur yang ada	Disesuaikan dengan agen risikonya	Disesuaikan dengan agen risikonya	Disesuaikan dengan agen risikonya
	• Air tanah (dari limbah cair)	Disesuaikan dengan literatur yang ada	Disesuaikan dengan agen risikonya	Disesuaikan dengan agen risikonya	Disesuaikan dengan agen risikonya
Bengkel patri / las / galvanisasi logam	• Udara	Disesuaikan dengan literatur yang ada	Disesuaikan dengan agen risikonya	Disesuaikan dengan agen risikonya	Disesuaikan dengan agen risikonya
	• Air permukaan	Disesuaikan dengan literatur yang ada	Disesuaikan dengan agen risikonya	Disesuaikan dengan agen risikonya	Disesuaikan dengan agen risikonya
	• Air tanah	Disesuaikan dengan literatur yang ada	Disesuaikan dengan agen risikonya	Disesuaikan dengan agen risikonya	Disesuaikan dengan agen risikonya
Transportasi	• Udara	Disesuaikan dengan literatur yang ada	Disesuaikan dengan agen risikonya	Disesuaikan dengan agen risikonya	Disesuaikan dengan agen risikonya
	• Tanaman	Disesuaikan dengan literatur yang ada	Disesuaikan dengan agen risikonya	Disesuaikan dengan agen risikonya	Disesuaikan dengan agen risikonya
Kegiatan lainnya	Disesuaikan dengan literatur yang ada	Disesuaikan dengan literatur yang ada	Disesuaikan dengan agen risikonya	Disesuaikan dengan agen risikonya	Disesuaikan dengan agen risikonya

Penggunaan formulir ini dapat dimodifikasi sesuai dengan kebutuhan dan dalam pengisiannya merujuk pada literatur yang tersedia.

3.2.2. Langkah 2 : Analisis dosis - respon (dose-response assessment)

Setelah melakukan identifikasi bahaya (agen risiko, konsentrasi dan media lingkungan), maka tahap selanjutnya adalah melakukan analisis dosis- respons yaitu mencari nilai RfD , dan/atau RfC , dan/atau SF dari agen risiko yang menjadi fokus ARKL, serta memahami efek apa saja yang mungkin ditimbulkan oleh agen risiko tersebut pada tubuh manusia. Analisis dosis – respon ini tidak harus dengan melakukan penelitian percobaan sendiri namun cukup dengan merujuk pada literature yang tersedia. Langkah analisis dosis respon ini dimaksudkan untuk :

- mengetahui **jalur pajanan** (*pathways*) dari suatu agen risiko masuk ke dalam tubuh manusia.
- memahami **perubahan gejala atau efek kesehatan** yang terjadi **akibat peningkatan konsentrasi atau dosis agen risiko** yang masuk ke dalam tubuh.
- mengetahui **dosis referensi (RfD) atau konsentrasi referensi (RfC) atau *slope factor* (SF) dari agen risiko tersebut.**

Di dalam laporan kajian ARKL ataupun dokumen yang menggunakan ARKL sebagai cara/ metode kajian, analisis dosis - respon perlu dibahas dan dicantumkan. Analisis dosis - respon dipelajari dari

berbagai *toxicological reviews*, jurnal ilmiah, atau artikel terkait lainnya yang merupakan hasil dari penelitian eksperimental. Untuk memudahkan, analisis dosis - respon dapat dipelajari pada situs : www.epa.gov/iris

Dosis Referensi (*RfD*), Konsentrasi Referensi (*RfC*), dan Slope Factor (*SF*)

Uraian tentang dosis referensi (*RfD*), konsentrasi referensi (*RfC*), dan slope factor (*SF*) adalah sebagai berikut :

- Dosis referensi dan konsentrasi yang selanjutnya disebut ***RfD* dan *RfC*** adalah **nilai yang dijadikan referensi untuk nilai yang aman pada efek non karsinogenik** suatu **agen risiko**, sedangkan ***SF (slope factor)*** adalah **referensi untuk nilai yang aman pada efek karsinogenik**.
- Nilai *RfD*, *RfC*, dan *SF* merupakan **hasil penelitian (*experimental study*)** dari berbagai sumber baik yang dilakukan langsung pada **obyek manusia** maupun merupakan **ekstrapolasi dari hewan percobaan ke manusia**.
- Untuk mengetahui *RfC*, *RfD*, dan *SF* suatu agen risiko dapat dilihat pada *Integrated Risk Information System (IRIS)* yang bisa diakses di situs www.epa.gov/iris.
- Jika tidak ada ***RfD*, *RfC*, dan *SF*** maka nilai **dapat diturunkan dari dosis eksperimental** yang lain seperti **NOAEL** (*No Observed Adverse Effect Level*), **LOAEL** (*Lowest Observed Adverse Effect Level*), **MRL** (*Minimum Risk Level*), baku mutu udara ambien pada **NAAQS** (*National Ambient Air Quality Standard*) **dengan catatan dosis eksperimental tersebut mencantumkan faktor antropometri yang jelas (W_b , t_E , f_E , dan D_I)**.

Satuan dosis referensi (*RfD*) dinyatakan sebagai milligram (mg) zat per kilogram (Kg) berat badan per hari, disingkat **mg/kg/hari**. Dalam literatur terkadang ditulis mg/kgxhari, mg/kg•hari, dan mg/kg-hari. Satuan konsentrasi referensi (*RfC*) dinyatakan sebagai milligram (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.

Untuk memudahkan dalam analisis dosis - respon, pada tabel 6 dan 7 disajikan contoh *RfD*, *RfC*, dan *SF*.

Tabel 6. Contoh *RfD*, dan *SF* beberapa agen risiko atau spesi kimia jalur ingesti

No (<i>RfD</i> , <i>SF</i>)	Agent	Dosis Respon	Efek Kristis dan Referensi
1	As (Arsen)	3E-4 mg/kg/day 1,5E+0 (mg/kg/day) ⁻¹	Hiperpigmentasi, keratosis dan kemungkinan komplikasi vaskular pajanan oral (Tseng, 1977; Tseng et al., 1968)
2	Ba (Barium)	2E-1 mg/kg/day	Nefropati dalam 2 tahun pemberian air minum kepada mencit (NTP 1994)
3	B (Boron)	2E-1 mg/kg/day	Penurunan berat janin pada pajanan asam borat gestasi diet mencit (Price et al, 1996; Heindel et al, 1992)
4	Cd (Kadmium)	5E-4 mg/kg/day	Proteinuria pajanan kronik manusia (USEPA, 1985)
5	Cl ₂ (Klorin) bebas	1E-1 mg/kg/day	Pajanan kronik air minum tikus (NTP, 1992)
6	Cr ⁶⁺ (Kromium Heksavalen)	3E-3 mg/kg/day	Uji hayati air minum 1 tahun dengan tikus (McKenzie et al, 1958) dan pajanan air minum penduduk Jinzhou (Zhang and Li, 1987)
7	CN ⁻ (Sianida)	2E-2 mg/kg/day	Kehilangan berat, efek tiroid dan degradasi myelin dalam uji hayati subkronik sampai kronik oral pada tikus (Philbrick et al, 1979)
8	F ⁻ (Fluorida)	6E-2 mg/kg/day	Flourisis gigi dan efek kosmetik dalam studi epidemiologi (Hodge, 1950 cited in Underwood, 1977)
9	Mn (Mangan)	1.4E- 1 mg/kg/day	Hipokolesterolemia, epilepsi, kekurangan pankreas eksokrin, sklerosis berganda, katarak, osteoporosis, fenilketonuria & penyakit kencing maple syrup (inborn) pada ingesi kronik manusia (NRC 1989; Freeland-Graves et al 1987; WHO 1973)
10	Hg - MeHg (Merkuri - metal merkuri)	1E-4 mg/kg/day	Kelainan neuropsikologis perkembangan dalam studi epidemiologi (Grandjean et al 1997; Budz-Jergensen et al 1999)
11	NO ₂ ⁻ (Nitrit)	1E-1 mg/kg/day	Methemoglobinemia pada bayi yang terpajan kronik air minum (Walton 1951)

13	Zn (Seng)	3E-1 mg/kg/day	Penurunan Cu eriytrosit dan aktifitas Zn superoksida dismutase pada relawan pria dan wanita (Yadrick et 1989)
14	CHBr ₃	2E-2 mg/kg/day 7.9E-3 (mg/kg/day)-1	Lesi hepatic uji hayati subkronik gavage oral pada tikus
15	CHCl ₃	1E-2 mg/kg/day	Pembentukan greasety cyst sedang/nyata pada hati dan
16	CHBr ₂ Cl	2E-2 mg/kg/day	Lesi hepatic uji hayati subkronik gavage oral pada tikus

Disadur dari Rahman, 2007

Tabel 7. Contoh *RfC* beberapa agen risiko atau spesi kimia jalur inhalasi

No	Agent	Dosis Respon	Efek Kristis dan Referensi
RfC			
1	NH ₃	2,86E-2	Kenaikan keparahan rinitis dan pneumonia dengan lesi pernafasan pada uji hayati tikus subkronik (Broderon et al 1976)
2	H ₂ S	5,7 1E-4	Lesi nasal lendir olfaktori pada uji hayati tikus subkronik (Brenneman et al 2000)
3	Pb	4,93E-4	Perubahan tingkat enzim dan perkembangan neurobehavioral anak-anak (IRIS 2006)
4	NO ₂	2E-2	Gangguan saluran pernafasan (EPA/NAAQS 1990)
5	SO ₂	2,6E-2	Gangguan saluran pernafasan (EPA/NAAQS 1990)
6	TSP	2,42	Gangguan saluran pernafasan (EPA/NAAQS 1990)

Disadur dari Rahman, 2007

Mengingat pemutakhiran (*update*) *RfD*, *RfC*, dan *SF* berlangsung sangat cepat, *RfD*, *RfC*, dan *SF* yang tercantum pada tabel di atas tidak bisa selamanya dijadikan acuan. *RfD*, *RfC*, dan *SF* dari agen risiko yang lain serta update dari *RfD*, *RfC*, dan *SF* pada tabel di atas dapat dilihat dengan mengakses www.epa.gov/iris. Tahapan dalam mengakses situs tersebut dapat dilihat pada lampiran 5.

Tampilan evaluasi dosis - respon yang terdapat pada *toxicological review* pada situs tersebut, dapat dilihat pada contoh berikut.

Contoh: evaluasi dosis - respon (1)

Methylmercury (MeHg); CASRN 22967-92-6

I.A.1. Oral *RfD* Summary

Critical Effect	Experimental Doses*	UF	MF	RfD
Developmental neuropsychological impairment Human epidemiological studies (Grandjean et al., 1997; Budtz-Jørgensen et al., 1999a)	Benchmark Dose: BMDL ₀₅ range of 46-79 ppb in maternal blood for different neuropsychological effects in the offspring at 7 years of age, corresponding to a range of maternal daily intakes of 0.857-1.472 µg/kg-day	10	1	1E-4 mg/kg-day 0.0001 mg/kg-day

*Conversion Factors and Assumptions –Maternal daily dietary intake levels were used as the dose surrogate for the observed developmental effects in the children exposed in utero. The daily dietary intake levels were calculated from blood concentrations measured in the mothers with supporting additional values based on their hair concentrations. This conversion is explained in the text below. A benchmark dose approach (BMD) was used rather than a no-observed-adverse-effect level/lowest-observed-adverse-effect level (NOAEL/LOAEL) approach to analyze the neurological effects in children as the response variable. This analysis is also explained in the text below.

This assessment updates the 1995 RfD assessment on IRIS and is the same as the RfD that was based on the study of a

poisoning episode in Iraq in which developmental neurotoxicity was observed following ingestion of methylmercury-treated grain (Marsh et al.1987).

Contoh: evaluasi dosis - respon (2)

Arsenic, inorganic (CASRN 7440-38-2)

II.B. Quantitative Estimate of Carcinogenic Risk from Oral Exposure

II.B.1. Summary of Risk Estimates

Oral Slope Factor = 1.5E+0 per (mg/kg)/day

Drinking Water Unit Risk = 5E-5 per (ug/L)

Extrapolation Method – Time- and dose-related formulation of the multistage model (U.S. EPA, 1988)

Drinking Water Concentrations at Specified Risk Levels:

Risk Level	Concentration
E-4 (1 in 10,000)	2E+0 ug/L
E-5 (1 in 100,000)	2E-1 ug/L
E-6 (1 in 1,000,000)	2E-2 ug/L

3.2.3. Langkah 3 : Analisis pajanan (exposure assessment)

Setelah melakukan langkah 1 dan 2, selanjutnya dilakukan **Analisis pemajanan** yaitu dengan

mengukur atau menghitung intake / asupan dari 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**. Rumus perhitungan yang digunakan adalah sebagai berikut :

Perhitungan intake non karsinogenik (I_{nk})

1. Intake pada jalur pemajanan inhalasi (terhirup)

$$I_{nk} = \frac{C \times R \times t_E \times}{f_{ED} \times W_b \times t_{avg}} \quad \dots\dots\dots \text{Rumus 1}$$

Keterangan :

Notasi	Arti notasi	Satuan	Nilai Default
I_{nk} (Intake)	: Jumlah konsentrasi agen risiko (mg) yang masuk ke dalam tubuh manusia dengan berat badan tertentu (kg) setiap harinya	mg/kg x hari	Tidak ada nilai default
C (Concentration)	: Konsentrasi agen risiko pada media udara (udara ambien)	mg/m ³	Tidak ada nilai default
R (Rate)	: Laju inhalasi atau banyaknya volume udara yang masuk setiap jamnya	m ³ /jam	Dewasa : 0,83 m ³ /jam Anak - anak (6 - 12 tahun) : 0,5 m ³ /jam

t_E (<i>time of exposure</i>)	: Lamanya atau jumlah jam terjadinya pajanan setiap harinya	Jam/hari	– Pajanan pada pemukiman : 24 jam/hari – Pajanan pada lingkungan kerja : 8 jam/hari – Pajanan pada sekolah dasar : 6 jam/hari
f_E (<i>frequency of exposure</i>)	: Lamanya atau jumlah hari terjadinya pajanan setiap tahunnya	Hari/tahun	– Pajanan pada pemukiman : 350 hari/tahun – Pajanan pada lingkungan kerja : 250 hari/tahun
D_t (<i>duration time</i>)	: Lamanya atau jumlah tahun terjadinya pajanan	Tahun	Residensial (pemukiman) / pajanan seumur hidup : 30 tahun
W_b (<i>weight of body</i>)	: Berat badan manusia / populasi / kelompok populasi	Kg	– Dewasa asia / Indonesia : 55 Kg – Anak - anak : 15 Kg
$t_{avg(nk)}$ (<i>time average</i>)	: Periode waktu rata - rata untuk efek non karsinogen	Hari	30 tahun x 365 hari/tahun = 10.950 hari

2. Intake pada jalur pemajanan ingesti (tertelan)

$$I_{nk} = \frac{C \times R \times x}{f_E \times D_t \times W_b \times t_{avg}} \quad \dots \dots \dots \text{Rumus 2}$$

Keterangan	Notasi	Arti notasi	Satuan	Nilai Default
	I_{nk} (<i>Intake</i>)	: Jumlah konsentrasi agen risiko (mg) yang masuk ke dalam tubuh manusia dengan berat badan tertentu (kg) setiap harinya	mg/kg x hari	Tidak ada nilai default
	C (<i>Concentration</i>)	: Konsentrasi agen risiko pada air bersih/minum atau pada makanan.	– mg/l (air) – mg/kg (makanan)	Tidak ada nilai default
	R (<i>Rate</i>)	: Laju konsumsi atau banyaknya volume air atau jumlah berat makanan yang masuk setiap jamnya	– liter/hari (air) – gram/hari (makanan)	Air Minum – Dewasa (pemukiman) : 2 liter/hari – Anak - anak (pemukiman) : 1 liter/hari – Dewasa (lingkungan kerja) : 1 liter/hari Makanan – Buah - buahan : 42 gram/hari – Sayuran : 80 gram/hari – Ikan tangkapan : 54 gram/hari
	f_E (<i>frequency of exposure</i>)	: Lamanya atau jumlah hari terjadinya pajanan setiap tahunnya	Hari/tahun	– Pajanan pada pemukiman : 350 hari/tahun – Pajanan pada lingkungan kerja : 250 hari/tahun
	D_t (<i>duration time</i>)	: Lamanya atau jumlah tahun		

dinya pajanan

Tahun

Residensial (pemukiman) /
pajanan seumur hidup : 30
tahun

W_b (<i>weight of body</i>)	: Berat badan manusia / populasi / kelompok populasi	Kg	– Dewasa asia / Indonesia : 55 Kg – Anak - anak : 15 Kg
$t_{avg(nk)}$ (<i>time average</i>)	: Periode waktu rata - rata untuk efek non karsinogen	Hari	30 tahun x 365 hari/tahun = 10.950 hari

Perhitungan intake karsinogenik (I_k)

1. Intake pada jalur pemajanan inhalasi (terhirup)

$$I_k = \frac{C \times R \times t_E}{f_E \times D_t \times W_b \times t_{avg}} \quad \dots \dots \dots \text{Rumus 3}$$

Keterangan :

Notasi	Arti notasi	Satuan	Nilai Default
I_k (<i>Intake</i>)	: Jumlah konsentrasi agen risiko (mg) yang masuk ke dalam tubuh manusia dengan berat badan tertentu (kg) setiap harinya	mg/kg x hari	Tidak ada nilai default
C (<i>Concentration</i>)	: Konsentrasi agen risiko pada media udara (udara ambien)	mg/m ³	Tidak ada nilai default
R (<i>Rate</i>)	: Laju inhalasi atau banyaknya volume udara yang masuk setiap jamnya	m ³ /jam	Dewasa : 0,83 m ³ /jam Anak - anak (6 - 12 tahun) : 0,5 m ³ /jam
t_E (<i>time of exposure</i>)	: Lamanya atau jumlah jam terjadinya pajanan setiap harinya	Jam/hari	– Pajanan pada pemukiman : 24 jam/hari – Pajanan pada lingkungan kerja : 8 jam/hari – Pajanan pada sekolah dasar : 6 jam/hari
f_E (<i>frequency of exposure</i>)	: Lamanya atau jumlah hari terjadinya pajanan setiap tahunnya	Hari/tahun	– Pajanan pada pemukiman : 350 hari/tahun – Pajanan pada lingkungan kerja : 250 hari/tahun
D_t (<i>duration time</i>)	: Lamanya atau jumlah tahun terjadinya pajanan	Tahun	Residensial (pemukiman) / pajanan seumur hidup : 30 tahun
W_b (<i>weight of body</i>)	: Berat badan manusia / populasi / kelompok populasi	Kg	– Dewasa asia / Indonesia : 55 Kg – Anak - anak : 15 Kg
$t_{avg(k)}$ (<i>time average</i>)	: Periode waktu rata - rata untuk efek karsinogenik	Hari	70 tahun x 365 hari/tahun = 25.550 hari

2. Intake pada jalur pemajanan ingesti (tertelan)

$$I_k = \frac{C \times R \times t_E}{f_E \times D_t \times W_b \times t_{A7G}} \quad \dots \dots \dots \text{Rumus 4}$$

Keterangan

Notasi	Arti notasi	Satuan	Nilai Default
--------	-------------	--------	---------------

I_k (Intake) : Jumlah konsentrasi agen risiko (mg) yang masuk ke dalam tubuh manusia dengan berat badan tertentu (kg) setiap harinya mg/kg x hari Tidak ada nilai default

Notasi	Arti notasi	Satuan	Nilai Default
C (Concentration)	: Konsentrasi agen risiko pada air bersih/minum atau pada makanan.	– mg/l (air) – mg/kg (makanan)	Tidak ada nilai default
R (Rate)	: Laju konsumsi atau banyaknya volume air atau jumlah berat makanan yang masuk setiap jamnya	– liter/hari (air) – gram/hari (makanan)	Air Minum – Dewasa (pemukiman) : 2 liter/hari – Anak - anak (pemukiman) : 1 liter/hari – Dewasa (lingkungan kerja) : 1 liter/hari Makanan – Buah - buahan : 42 gram/hari – Sayuran : 80 gram/hari – Paparan pada pemukiman : 350 hari/tahun – Paparan pada Residensial (pemukiman) paparan seumur hidup : 30 tahun – Dewasa asia / Indonesia : 55 Kg 70 tahun x 365 hari/tahun =
f_E (frequency of exposure)	: Lamanya atau jumlah hari terjadinya paparan setiap tahunnya	Hari/tahun	
D_t (duration time)	: Lamanya atau jumlah tahun terjadinya paparan	Tahun	
W_b (weight of body)	: Berat badan manusia / populasi / kelompok populasi	Kg	
$t_{avg(k)}$ (time average)	: Periode waktu rata - rata untuk efek karsinogenik	Hari	

Analisis pemajanan pada aplikasi „desktop“ ARKL

Hal - hal yang perlu diketahui dan dicermati dalam melakukan analisis pemajanan pada aplikasi

‘desktop’ ARKL adalah sebagai berikut :

- ✓ Pada ‘desktop’ ARKL **tidak perlu dilakukan pengumpulan data.**
- ✓ Data yang menjadi dasar perhitungan **intake menggunakan data sekunder dan asumsi.**
- ✓ Terkait dengan variabel konsentrasi perlu diperhatikan hal sebagai berikut :
 - ❖ **Data sekunder** umumnya, dibutuhkan untuk mengetahui **konsentrasi agen risiko** pada media lingkungan yang mana merupakan hasil pengukuran yang pernah dilakukan oleh pihak lain **pada media lingkungan, wilayah dan waktu yang sama.**
 - ❖ Pada aplikasi ‘desktop’ ARKL dalam rangkaian **studi AMDAL (kajian ANDAL dan RKL - RPL untuk aspek kesehatan masyarakat)** suatu kegiatan, sumber data **konsentrasi** dapat **merupakan proyeksi perubahan rona lingkungan yang telah dikaji pada aspek yang lain** mis. proyeksi konsentrasi agen risiko di udara ambien pada tahap operasional kegiatan atau proyeksi konsentrasi agen risiko di air bersih pada tahap operasional kegiatan.
- ✓ Terkait dengan variabel perhitungan yang lain (**R , t_E , f_E , D_t , W_b , dan t_{AVG}**) **asumsi didasarkan pada logika yang rasional atau nilai default yang sudah tersedia.** Adapun nilai default untuk berbagai variabel pada ‘desktop’ ARKL dapat dilihat pada tabel 9 berikut.

Tabel 9 Nilai *default* dari faktor pajanan (Rahman, 2007)

Tataguna lahan	Jalur pajanan	Asupan harian	Frekuensi pajanan (hari/tahun)	Durasi pajanan (tahun)	Berat badan (kg)
Residensial	Air minum	2 L (dewasa)	350	30	70 ; 55 ^b
		1 L (anak)	350	6	15
	Tanah/debu (tertelan)	100 mg (dewasa)	350	24	70 ; 55 ^b
		200 mg (anak)	350	6	15
	Inhalasi (terhirup)	20 m ³ (dewasa) $\approx$ 0,83 m ³ /jam	350	30	70 ; 55 ^b
		12 m ³ (anak) $\approx$ 0,5 m ³ /jam	350	6	15
Industri & komersial Pertanian	Air minum	1 L	250	25	70 ; 55 ^b
	Tanaman perkarangan	42 g (buah - buahan)	350	30	70 ; 55 ^b
		80 g (sayur - mayur)	350	30	70 ; 55 ^b
	Air minum	2 L (dewasa)	350	30	70 ; 55 ^b
		1 L (anak)	350	6	15
	Tanah/debu (tertelan)	100 mg (dewasa)	350	24	70 ; 55 ^b
		200 mg (anak)	350	6	15
	Inhalasi (terhirup)	20 m ³ (dewasa) $\approx$ 0,83 m ³ /jam	350	30	70 ; 55 ^b
Rekreasi	Ikan tangkapan	54 g	350	30	70 ; 55 ^b

Disadur dari Rahman, 2007 : seluruhnya berasal dari *Exposure Factor Handbook* (EPA, 1990) kecuali ^bNukman et al (2005)

3.2.4. Langkah 4 : Karakterisasi risiko (risk characterization)

Langkah ARKL yang terakhir adalah **karakterisasi 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 / membagi intake dengan dosis / konsentrasi agen risiko** tersebut. **Variabel** yang digunakan untuk menghitung **tingkat risiko** adalah **intake** (yang didapatkan dari analisis pemajanan) dan **dosis referensi (RfD) / konsentrasi referensi (RfC)** yang didapat dari literatur yang ada (dapat diakses di situs www.epa.gov/iris).

1. Karakterisasi risiko pada efek non karsinogenik

Perhitungan tingkat risiko non karsinogenik

Tingkat risiko untuk efek **non karsinogenik** dinyatakan dalam notasi **Risk Quotien (RQ)**. Untuk melakukan karakterisasi risiko untuk efek non karsinogenik dilakukan perhitungan dengan **membandingkan / membagi intake dengan RfC atau RfD**. Rumus untuk menentukan RQ adalah sebagai berikut :

$$\frac{I}{RfC} \dots \dots \dots \text{Rumus 5}$$

Keterangan

Digunakan untuk menghitung **RQ** pada pemajanan jalur inhalasi (terhirup)

I (intake) : Intake yang telah dihitung dengan **rumus 1**

RfC (reference concentration) : Nilai referensi agen risiko pada pemajanan inhalasi. Didapat dari situs www.epa.gov/iris.

$$\frac{I}{RfC} \dots\dots\dots \text{Rumus 6}$$

Keterangan

Digunakan untuk menghitung **RQ** pada pemajanan jalur ingesti (tertelan)

I (intake) : Intake yang telah dihitung dengan **rumus 2**

RfD (reference dose) : Nilai referensi agen risiko pada pemajanan ingesti. Didapat dari situs www.epa.gov/iris.

Interpretasi tingkat risiko non karsinogenik

Tingkat risiko yang diperoleh pada **ARKL** merupakan konsumsi pakar ataupun praktisi, sehingga **perlu disederhanakan** atau dipilih bahasa yang lebih sederhana **agar dapat diterima oleh khalayak atau publik**. Tingkat risiko dinyatakan dalam **angka** atau **bilangan desimal tanpa satuan**. Tingkat risiko dikatakan **AMAN** bilamana **intake $\leq$ RfD** atau **RfCnya** atau dinyatakan dengan **RQ $\leq$ 1**. Tingkat risiko dikatakan **TIDAK AMAN** bilamana **intake $>$ RfD** atau **RfCnya** atau dinyatakan dengan **RQ $>$ 1**.

Narasi yang digunakan dalam penyederhanaan interpretasi risiko agar dapat diterima oleh khalayak atau publik harus memuat sebagai berikut

- :
- Pernyataan risiko □ ‘aman’ atau ‘tidak aman’
 - Jalur pajanan (dasar perhitungan) □ ‘inhalasi’ atau ‘ingesti’
 - Konsentrasi agen risiko (dasar perhitungan) □ mis. ‘0,00008 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ’, ‘0,02 mg/l ’, dll
 - Populasi yang berisiko □ mis. ‘pekerja tambang’, ‘masyarakat di sekitar jalan tol’, dll
 - Kelompok umur populasi (dasar perhitungan) □ ‘dewasa’ atau ‘anak – anak’
 - Berat badan populasi (dasar perhitungan) □ mis. ‘15 kg’, ‘55 kg’, ‘65 kg’, ‘70 kg’, dll
 - Frekuensi pajanan (dasar perhitungan) □ mis. ‘350 hari/tahun’, ‘250 hari/tahun’, dll
 - Durasi pajanan (dasar perhitungan) □ mis yang terpajan selama ‘10 tahun’, ‘30 tahun’, dll

Contoh : Tingkat risiko

RQ untuk pajanan Pb (inhalasi) sebesar 0,00008 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pada masyarakat dewasa yang tinggal di sekitar jalan tol dengan berat badan rata - rata 55 kg dan telah terpajan 350 hari/tahun selama 20 tahun diketahui sebesar **0,098**

maka

Interpretasi risiko

Pajanan Pb sebesar 0,00008 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ secara **inhalasi** pada **masyarakat dewasa yang tinggal di sekitar jalan tol** dengan berat badan **55 Kg**, **masih aman** untuk frekuensi pajanan **350 hari/tahun** hingga **20 tahun** mendatang.

Perhitungan tingkat risiko karsinogenik

Tingkat risiko untuk efek **karsinogenik** dinyatakan dalam notasi **Excess Cancer Risk (ECR)**. Untuk melakukan karakterisasi risiko untuk efek karsinogenik dilakukan perhitungan dengan **mengkali intake dengan SF**. Rumus untuk menentukan **ECR** adalah sebagai berikut :

$$ECR = I \times SF \dots\dots\dots \text{Rumus 7}$$

Keterangan

Digunakan untuk menghitung **tingkat risiko** pada agen risiko dengan efek karsinogenik

I (intake) : Intake yang telah dihitung dengan **rumus 3** atau **rumus 4**

SF (slope factor) : Nilai referensi agen risiko dengan efek karsinogenik. Didapat dari situs www.epa.gov/iris.

Interpretasi tingkat risiko karsinogenik

Tingkat risiko dinyatakan dalam **bilangan exponen tanpa satuan** (cth. $1,3E-4$). Tingkat risiko dikatakan **acceptable** atau **aman** bilamana $ECR \leq E-4$ (10^{-4}) atau dinyatakan dengan $ECR \leq 1/10.000$. Tingkat risiko dikatakan **unacceptable** atau **tidak aman** bilamana $ECR > E-4$ (10^{-4}) atau dinyatakan dengan $ECR > 1/10.000$.

Contoh : $ECR = 1,3E-5$ ($1,3 \times 10^{-5}$) dapat diinterpretasikan sebagai berikut : **“terdapat 1,3 kasus dalam 100.000 orang yang dapat berkembang menjadi kasus kanker”** atau **“terdapat 1,3 orang yang berisiko terkena kanker pada 100.000 orang populasi”**.

Narasi yang digunakan dalam risiko karsinogenik harus memuat sebagai berikut :

- Pernyataan risiko □ „**acceptable**” atau „**unacceptable**” (‘aman’ atau ‘tidak aman’)
- Jalur pajanan (dasar perhitungan) □ ‘**inhalasi**’ atau ‘**ingesti**’
- Konsentrasi agen risiko (dasar perhitungan) □ mis. ‘**0,00008 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** ’, ‘**0,02 mg/l** ’, dll
- Populasi yang berisiko □ mis. ‘**pekerja tambang**’, ‘**masyarakat di sekitar jalan tol**’, dll
- Kelompok umur populasi (dasar perhitungan) □ ‘**dewasa**’ atau ‘**anak – anak**’
- Berat badan populasi (dasar perhitungan) □ mis. ‘**15 kg**’, ‘**55 kg**’, ‘**65 kg**’, ‘**70 kg**’, dll
- Frekuensi pajanan (dasar perhitungan) □ mis. ‘**350 hari/tahun**’, ‘**250 hari/tahun**’, dll
- Durasi pajanan (dasar perhitungan) □ mis yang terpajan selama ‘**10 tahun**’, ‘**30 tahun**’, dll
- Risiko kanker □ mis. **“terdapat 1,3 kasus dalam 100.000 orang yang dapat berkembang menjadi kasus kanker”** atau **“terdapat 1,3 orang yang berisiko terkena kanker pada 100.000 orang populasi”**.

Contoh : Tingkat risiko

ECR untuk pajanan benzene (inhalasi) sebesar $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pada pekerja depo penampungan BBM di Jakarta dengan berat badan rata - rata 60 kg dan telah terpajan 250 hari/tahun selama 10 tahun diketahui sebesar **$4,56E-4$**

3.2.5. Pengelolaan risiko

Setelah melakukan keempat langkah ARKL di atas maka telah dapat diketahui apakah suatu agen risiko aman/dapat diterima atau tidak. **Pengelolaan risiko** bukan termasuk langkah ARKL melainkan tindak lanjut yang harus **dilakukan bilamana** hasil karakterisasi risiko menunjukkan **tingkat risiko** yang **tidak aman** ataupun **unacceptable**. Dalam melakukan **pengelolaan risiko** perlu **dibedakan** antara **strategi** pengelolaan risiko **dengan cara** pengelolaan risiko. **Strategi pengelolaan risiko meliputi penentuan batas aman** yaitu

- **Konsentrasi agen risiko (C)**, dan/atau
- **Jumlah konsumsi (R)**, dan/atau
- **Waktu pajanan (t_E)**, dan/atau
- **Frekuensi pajanan (f_E)**, dan/atau
- **Durasi pajanan (D_i)**,

Setelah batas aman ditentukan, **selanjutnya** perlu **dilakukan penapisan alternatif** terhadap batas aman yang mana yang akan dijadikan sebagai target atau sasaran pencapaian dalam pengelolaan risiko. Batas aman yang dipilih adalah **batas aman yang lebih rasional dan realistis untuk dicapai**.

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**. penjelasan lebih lanjut langkah - langkah dalam pengelolaan risiko adalah sebagai berikut :

Strategi pengelolaan risiko

1. Penentuan batas aman

Batas aman disini adalah batas atau nilai terendah yang menyebabkan tingkat risiko menjadi

tidak aman (tidak dapat diterima). Oleh karenanya **nilai yang aman adalah nilai di bawah batas amannya** sedangkan **nilai yang sama dengan batas aman** tersebut akan menyebabkan **tingkat risiko menjadi tidak aman**. Sebagai contoh jika hasil perhitungan menunjukkan **konsentrasi aman adalah 4,499 µg/m³** maka nilai konsentrasi yang benar – benar aman adalah di bawah 4,499 µg/m³ (<4,499 µg/m³) ≈ 4,498 µg/m³.

a) Penentuan konsentrasi aman (C)

Dalam penentuan konsentrasi aman semua variabel dan nilai yang digunakan sama dengan variabel dan nilai pada perhitungan intake. Akan tetapi nilai intake yang digunakan adalah *RfD* atau *RfC* agen risikonya.

Sedangkan konsentrasi aman pada intake karsinogenik, perhitungan didasarkan pada nilai acceptable sebesar 10⁻⁴ dibagi nilai *SF* nya. Selain itu, variabel *t_{avg}* disesuaikan dengan perhitungan karsinogenik yaitu (70 hari/tahun x 365 hari). Untuk menghitung konsentrasi aman digunakan rumus sebagai berikut :

Konsentrasi aman non karsinogenik

– Konsentrasi aman non karsinogenik (inhalasi)

$$C_{nk(aman)} = \frac{RfC \times W_b \times t_{avg}}{R \times t_E \times f_E \times D_t} \dots\dots\dots \text{Rumus 8}$$

– Konsentrasi aman non karsinogenik (ingestii)

$$C_{nk(aman)} = \frac{RfD \times W_b \times t_{avg}}{R \times f_E \times D_t} \dots\dots\dots \text{Rumus 9}$$

Konsentrasi aman karsinogenik

– Konsentrasi aman karsinogenik (inhalasi)

$$C_{k(aman)} = \frac{(0.0001 / SF) \times W_b \times 70 \times 365}{R \times t_E \times f_E \times D_t} \dots\dots\dots \text{Rumus 10}$$

– Konsentrasi aman karsinogenik (ingesti)

$$C_{k(aman)} = \frac{(0.0001 / SF) \times W_b \times 70 \times 365}{R \times f_E \times D_t} \dots\dots\dots \text{Rumus 11}$$

Keterangan

Notasi	Arti Notasi
<i>C_(aman)</i> (Concentration)	: Konsentrasi agen risiko pada udara ambien atau pada air bersih/minum atau pada makanan yang aman.
– <i>RfC</i> atau reference concentration (rumus 8)	: – Nilai kuantitatif atau konsentrasi suatu agen risiko yang dijadikan referensi untuk nilai yang aman bagi tubuh.
– <i>RfD</i> atau reference dose (rumus 9)	– Nilai kuantitatif atau dosis suatu agen risiko yang dijadikan referensi untuk nilai yang aman bagi tubuh.
– <i>SF</i> atau slope factor	– Nilai kuantitatif suatu agen risiko karsinogenik yang

dijadikan referensi untuk nilai yang aman
bagi tubuh dari efek karsinogenik.

R (Rate)	: Laju asupan : – Volume udara yang masuk tubuh (m ³) setiap jamnya – Volume air minum yang masuk tubuh (liter) setiap harinya – Volume makanan yang masuk tubuh (gram) setiap harinya
t_E atau time of exposure (rumus 8)	: Lamanya atau jumlah jam terjadinya pajanan setiap harinya
f_E (frequency of exposure)	: Lamanya atau jumlah hari terjadinya pajanan setiap tahunnya
D_t (duration time)	: Lamanya atau jumlah tahun terjadinya pajanan
W_b (weight of body)	: Berat badan manusia / populasi / kelompok populasi
t_{avg} (time average)	: Untuk agen risiko dengan efek non karsinogenik : Periode waktu rata - rata untuk efek non karsinogenik

b) Penentuan jumlah konsumsi aman (R)

Laju asupan yang dapat dikelola hanyalah pada pajanan melalui makanan dan air minum (ingesti) karena masih banyak substitusi untuk setiap jenis makanan ataupun air minum. Untuk pajanan melalui udara (inhalasi) pembatasan laju inhalasi hampir tidak mungkin dilakukan. Untuk menghitung jumlah konsumsi aman digunakan rumus sebagai berikut :

– Laju konsumsi aman non karsinogenik (ingesti)

$$R_{nk(aman)} = \frac{RfD \times W_b \times t_{avg}}{C \times f_E \times D_t} \dots\dots\dots \text{Rumus 12}$$

– Laju konsumsi aman karsinogenik (ingesti)

$$R_{k(aman)} = \frac{(0.0001 / SF) \times W_b \times 70 \times 365}{C \times f_E \times D_t} \dots\dots\dots \text{Rumus 13}$$

Keterangan

Notasi	Arti Notasi
R_(aman)	: Laju konsumsi atau banyaknya volume makanan (gram) atau volume air (liter) yang masuk tubuh setiap harinya yang aman.
– RfD atau reference dose	: – Nilai kuantitatif atau dosis suatu agen risiko yang dijadikan referensi untuk nilai yang aman bagi tubuh.
– SF atau slope factor	: – Nilai kuantitatif suatu agen risiko karsinogenik yang dijadikan referensi untuk nilai yang aman bagi tubuh dari efek karsinogenik.
C (Concentration)	: Konsentrasi agen risiko pada makanan atau air.
f_E (frequency of exposure)	: Lamanya atau jumlah hari terjadinya pajanan setiap tahunnya
D_t (duration time)	: Lamanya atau jumlah tahun terjadinya pajanan
W_b (weight of body)	: Berat badan manusia / populasi / kelompok populasi
t_{avg} (time average)	: – Untuk agen risiko dengan efek non karsinogenik : Periode waktu rata - rata untuk efek non karsinogenik – Untuk agen risiko dengan efek karsinogenik : Periode waktu rata - rata untuk efek karsinogenik

c) Penentuan waktu pajanan aman (t_E)

Waktu pajanan aman dapat dikelola bila pemajanan terjadi pada lingkungan kerja ataupun lingkungan pendidikan yang tidak permanen seperti pada lingkungan tempat tinggal (pemukiman). Pengelolaan waktu pajanan dilakukan dengan mengurangi jumlah jam terpapar setiap harinya, oleh karenanya hanya dapat dilakukan pada populasi pekerja maupun siswa bukan pada populasi penduduk (masyarakat). Penerapannya dilakukan untuk pemajanan inhalasi, sedangkan untuk pemajanan ingesti (melalui makanan atau air minum) cukup dilakukan dengan pembatasan jumlah konsumsi saja.

Untuk menghitung waktu pajanan aman digunakan rumus sebagai berikut :

– Waktu pajanan aman non karsinogenik (inhalasi)

$$t_{Enk(aman)} = \frac{RfC \times W_b \times t_{avg}}{C \times R \times f_E \times D_t} \dots\dots\dots \text{Rumus 14}$$

– Waktu pajanan aman karsinogenik (inhalasi)

$$t_{Ek(aman)} = \frac{(0.0001 / SF) \times W_b \times 70 \times 365}{C \times R \times f_E \times D_t} \dots\dots\dots \text{Rumus 15}$$

Keterangan

Notasi	Arti Notasi
$R_{(aman)}$	: Laju konsumsi atau banyaknya volume makanan (gram) atau volume air (liter) yang masuk tubuh setiap harinya yang aman.
– RfD atau reference dose	: – Nilai kuantitatif atau dosis suatu agen risiko yang dijadikan referensi untuk nilai yang aman bagi tubuh.
– SF atau slope factor	: – Nilai kuantitatif suatu agen risiko karsinogenik yang dijadikan referensi untuk nilai yang aman bagi tubuh dari efek karsinogenik.
C (Concentration)	: Konsentrasi agen risiko pada makanan atau air.
f_E (frequency of exposure)	: Lamanya atau jumlah hari terjadinya pajanan setiap tahunnya
D_t (duration time)	: Lamanya atau jumlah tahun terjadinya pajanan
W_b (weight of body)	: Berat badan manusia / populasi / kelompok populasi
t_{avg} (time average)	: – Untuk agen risiko dengan efek non karsinogenik : Periode waktu rata - rata untuk efek non karsinogenik – Untuk agen risiko dengan efek karsinogenik : Periode waktu rata - rata untuk efek karsinogenik

d) Penentuan frekuensi pajanan aman (f_E)

Frekuensi pajanan aman dapat dikelola bila pemajanan terjadi pada lingkungan kerja ataupun lingkungan pendidikan yang tidak permanen seperti pada lingkungan tempat tinggal (pemukiman). Pengelolaan frekuensi pajanan dilakukan dengan mengurangi jumlah hari terpapar dalam satu tahun, oleh karenanya hanya dapat dilakukan pada populasi pekerja maupun siswa bukan pada populasi penduduk (masyarakat). Penerapannya dilakukan untuk pemajanan inhalasi, sedangkan untuk pemajanan ingesti (melalui makanan atau air minum) cukup dilakukan dengan pembatasan jumlah konsumsi saja. Untuk menghitung frekuensi pajanan aman digunakan rumus sebagai berikut :

– Frekuensi pajanan aman non karsinogenik (inhalasi)

$$f_{Enk(aman)} = \frac{RfC \times W_b \times t_{avg}}{C \times R \times t_E \times D_t} \dots\dots\dots \text{Rumus 16}$$

– Frekuensi pajanan aman karsinogenik (inhalasi)

$$f_{Ek(aman)} = \frac{(0.0001 / SF) \times W_b \times 70 \times 365}{C \times R \times t_E \times D_t} \dots\dots\dots \text{Rumus 17}$$

Keterangan

Notasi	Arti Notasi
$f_{E(aman)}$ (frequency of exposure)	: Lamanya atau jumlah hari terjadinya pajanan setiap tahunnya yang aman
RfC atau reference concentration	: Nilai kuantitatif atau dosis suatu agen risiko yang dijadikan referensi untuk nilai yang aman bagi tubuh.

C (Concentration)

: Konsentrasi agen risiko pada udara ambien.

R (Rate)

: Laju konsumsi atau banyaknya volume udara (m^3) atau masuk tubuh setiap jamnya

t_E (time of exposure)	: Lamanya atau jumlah jam terjadinya pajanan setiap harinya
D_t (duration time)	: Lamanya atau jumlah tahun terjadinya pajanan
W_b (weight of body)	: Berat badan manusia / populasi / kelompok populasi
t_{avg} (time average)	: – Untuk agen risiko dengan efek non karsinogenik : Periode waktu rata - rata untuk efek non karsinogenik – Untuk agen risiko dengan efek karsinogenik : Periode waktu rata - rata untuk efek karsinogenik

e) Penentuan durasi pajanan aman (D_t)

Durasi pajanan aman dikelola pada pemajanan inhalasi pada lingkungan yang permanen seperti pada lingkungan tempat tinggal (pemukiman). Pengelolaan durasi pajanan dilakukan dengan membatasi lamanya tinggal (tahun) masyarakat pada suatu pemukiman dengan cara melakukan 'relokasi' pemukiman pada saat telah melewati batas durasi amannya. Penerapan strategi durasi pajanan aman untuk pemajanan ingesti (melalui makanan atau air minum) kurang tepat karena pada pemajanan ingesti pengelolaan risiko cukup dilakukan dengan pembatasan jumlah konsumsi saja. Untuk menghitung durasi pajanan aman digunakan rumus sebagai berikut :

– Durasi pajanan aman non karsinogenik (inhalasi)

$$D_{tnk(aman)} = \frac{RfC \times W_b \times t_{avg}}{C \times R \times t_E \times f_E} \dots\dots\dots \text{Rumus 18}$$

– Durasi pajanan aman karsinogenik (inhalasi)

$$D_{tk(aman)} = \frac{(0.0001 / SF) \times W_b \times 70 \times 365}{C \times R \times t_E \times f_E} \dots\dots\dots \text{Rumus 19}$$

Keterangan

Notasi	Arti Notasi
$D_{t(aman)}$ (duration time)	: Lamanya atau jumlah tahun terjadinya pajanan yang aman
RfC atau reference concentration	: Nilai kuantitatif atau dosis suatu agen risiko yang dijadikan referensi untuk nilai yang aman bagi tubuh.
C (Concentration)	: Konsentrasi agen risiko pada udara ambien.
R (Rate)	: Laju konsumsi atau banyaknya volume udara (m^3) atau masuk tubuh setiap jamnya
t_E (time of exposure)	: Lamanya atau jumlah jam terjadinya pajanan setiap harinya
f_E (frequency of exposure)	: Lamanya atau jumlah hari terjadinya pajanan setiap tahunnya.
W_b (weight of body)	: Berat badan manusia / populasi / kelompok populasi
t_{avg} (time average)	: – Untuk agen risiko dengan efek non karsinogenik : Periode waktu rata - rata untuk efek non karsinogenik – Untuk agen risiko dengan efek karsinogenik : Periode waktu rata - rata untuk efek karsinogenik

2. Penapisan alternatif (pemilihan skenario) pengelolaan risiko

Penapisan alternatif pengelolaan risiko harus didasarkan pada pertimbangan logis dan turut mempertimbangkan berbagai faktor termasuk cara pengelolaan risikonya. Penapisan alternatif (pemilihan skenario) pengelolaan risiko dapat dilihat pada tabel 10 di bawah ini

Tabel 10 Alternatif pengelolaan risiko dan penggunaannya

Alternatif Pengelolaan Risiko	Penggunaan					
	Pada lingkungan khusus (tempat kerja, sekolah, dll)			Pada lingkungan permanen (pemukiman)		
	Ingesti Air	Ingesti Makanan	Inhalasi Udara	Ingesti Air	Ingesti Makanan	Inhalasi Udara
Penurunan konsentrasi hingga ke batas aman (konsentrasi aman)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Pengurangan konsumsi hingga ke batas aman (jumlah konsumsi aman)	✓	✓		✓	✓	
Pembatasan waktu pajanan hingga ke batas aman (waktu pajanan aman)			✓			
Pembatasan frekuensi pajanan hingga ke batas aman (frekuensi pajanan aman)	✓	✓	✓			
Pembatasan durasi pajanan hingga ke batas aman (durasi pajanan aman)						✓

Cara pengelolaan risiko

Pengelolaan risiko selain membutuhkan strategi yang tepat juga harus dilakukan dengan cara atau metode yang tepat. Dalam aplikasinya cara pengelolaan risiko dapat dilakukan melalui 3 pendekatan yaitu :

1) Pendekatan teknologi

Pengelolaan risiko menggunakan teknologi yang tersedia meliputi penggunaan alat, bahan, dan metode, serta teknik tertentu. Contoh pengelolaan risiko dengan pendekatan teknologi antara lain : penerapan penggunaan IPAL, pengolahan / penyaringan air, modifikasi cerobong asap, penanaman tanaman penyerap polutan, dll.

2) Pendekatan sosial - ekonomis

Pengelolaan risiko menggunakan pendekatan sosial - ekonomis meliputi pelibatan pihak lain, efisiensi proses, substitusi, dan penerapan sistem kompensasi. Contoh pengelolaan risiko dengan pendekatan sosial - ekonomis antara lain : 3R (reduce, reuse, dan recycle) limbah, pemberdayaan masyarakat yang berisiko, pemberian kompensasi pada masyarakat yang terkena dampak, permohonan bantuan pemerintah akibat keterbatasan pemrakarsa (pihak yang bertanggung jawab mengelola risiko), dll

3) Pendekatan institusional

Pengelolaan risiko dengan menempuh jalur dan mekanisme kelembagaan dengan cara melakukan kerjasama dengan pihak lain. Contoh pengelolaan risiko dengan pendekatan institusional antara lain : kerjasama dalam pengolahan limbah B3, mendukung pengawasan yang dilakukan oleh pemerintah, menyampaikan laporan kepada instansi yang berwenang, dll.

3.2.6. Komunikasi risiko

Komunikasi risiko dilakukan untuk menyampaikan informasi risiko pada masyarakat (populasi yang berisiko), pemerintah, dan pihak yang berkepentingan lainnya. Komunikasi risiko merupakan tindak lanjut dari pelaksanaan ARKL dan merupakan tanggung jawab dari pemrakarsa atau pihak yang menyebabkan terjadinya risiko. Bahasa yang digunakan haruslah

bahasa umum dan mudah dipahami, serta memuat seluruh informasi yang dibutuhkan tanpa ada

yang ‘ditutup - tutupi’. Komunikasi risiko dapat dilakukan dengan teknik atau metode ceramah ataupun diskusi interaktif, dengan menggunakan media komunikasi yang ada seperti media massa, televisi, radio, ataupun penyajian dalam format pemetaan menggunakan *geographical information system (GIS)*

Turnitin Farras Zhafran

ORIGINALITY REPORT

6%

SIMILARITY INDEX

6%

INTERNET SOURCES

1%

PUBLICATIONS

5%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

Submitted to Universitas Andalas

Student Paper

4%

2

repository.uinjkt.ac.id

Internet Source

1%

3

scholar.unand.ac.id

Internet Source

1%

Exclude quotes On

Exclude matches < 1%

Exclude bibliography On