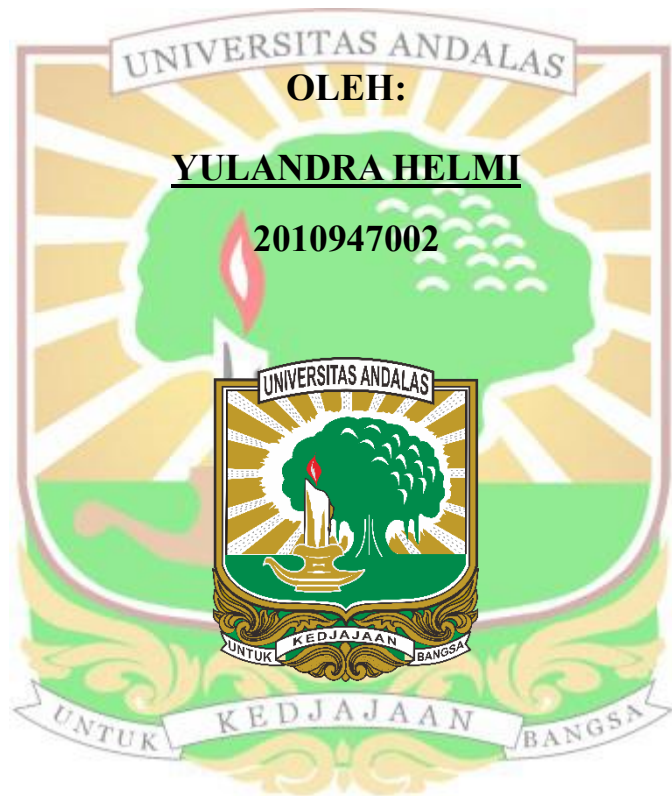


**ANALISIS RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN PAJANAN  
MERKURI (Hg) DAN KADMIUM (Cd) TERHADAP POLA  
KONSUMSI IKAN MASAI (*Mystacoleucus marginatus*)  
MASYARAKAT KOTA SAWAHLUNTO  
TUGAS AKHIR**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK LINGKUNGAN  
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK-UNIVERSITAS ANDALAS  
PADANG  
2026**

**ANALISIS RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN PAJANAN  
MERKURI (Hg) DAN KADMIUM (Cd) TERHADAP POLA  
KONSUMSI IKAN MASAI (*Mystacoleucus marginatus*)  
MASYARAKAT KOTA SAWAHLUNTO**

**TUGAS AKHIR**

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

**OLEH:**

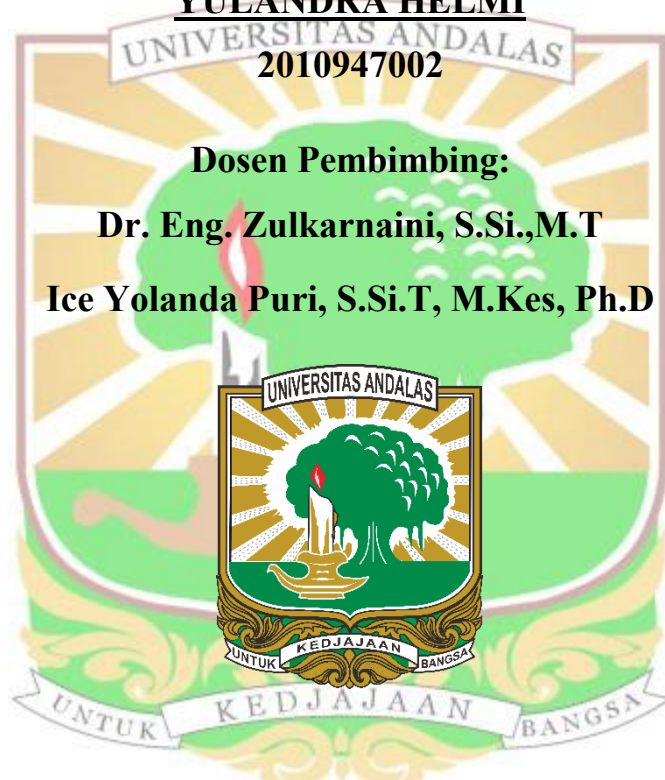
**YULANDRA HELMI**

**2010947002**

**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**

**2026**

## LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN PAJANAN MERKURI  
(Hg) DAN KADMIUM (Cd) TERHADAP POLA KONSUMSI IKAN  
MASAI (*Mystacoleucus marginatus*) MASYARAKAT KOTA  
SAWAHLUNTO


Nama : Yulandra Helmi

NIM : 2010947002

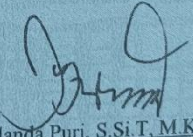
Lulus Sidang Tugas Akhir tanggal: 27 Januari 2026

Disetujui oleh:


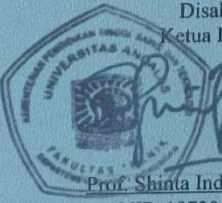
Pembimbing Utama,

  
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,

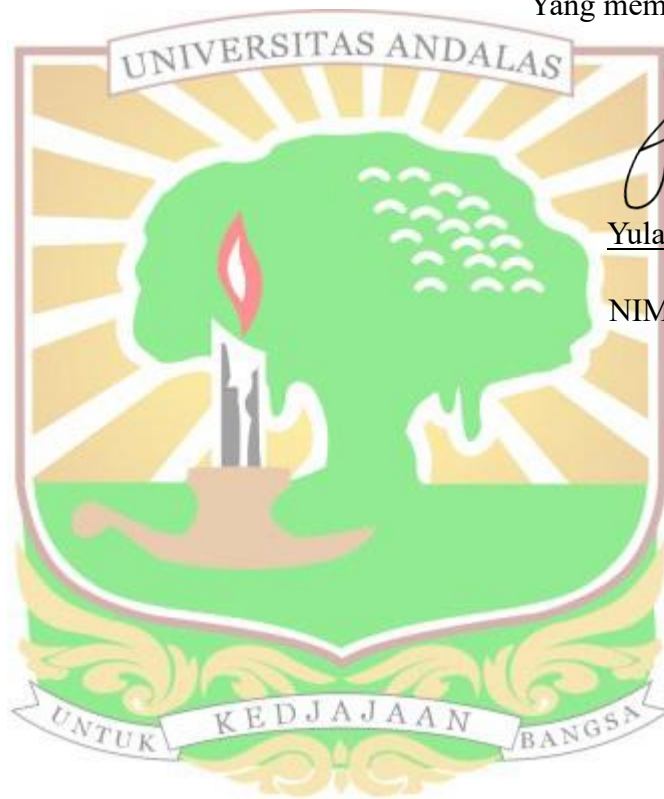
  
  
Prof. Shinta Indah, S.Si, M.T., Ph.D  
NIP. 197301081999032002

## PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi yang ditulis dengan judul: **Analisis Pola Konsumsi Ikan Masai (*Mystacoleucus Marginatus*) Oleh Masyarakat Kota Sawahlunto Dan Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Merkuri (Hg) Dan Kadmium (Cd)** 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, 29 Januari 2026

Yang membuat pernyataan,



Yulandra Helmi

NIM. 2010947002



## ABSTRAK

Aktivitas penambangan pasir dan emas ilegal, area bekas tambang, serta PLTU di sepanjang aliran Sungai Batang Ombilin berpotensi menghasilkan cemaran logam berat yang terakumulasi dalam tubuh ikan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola konsumsi ikan masai (*Mystacoleucus marginatus*) di Kota Sawahlunto, menilai risiko kesehatan akibat paparan logam Hg dan Cd berdasarkan data lapangan dan data default, menganalisis nilai *Metal Pollution Index* (MPI) menggunakan data sekunder, menentukan batas aman konsumsi ikan masai, serta memberikan rekomendasi pengelolaan risiko kesehatan bagi masyarakat. Penelitian menggunakan metode observasional dengan pendekatan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). Data pola konsumsi diperoleh dari kuesioner terhadap 100 responden konsumen ikan masai di Nagari Talawi, sedangkan data konsentrasi Hg dan Cd pada ikan dan air diperoleh dari data sekunder. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsumsi ikan masai oleh masyarakat Kota Sawahlunto tergolong jarang (rata-rata 2 kali/bulan) dengan konsumsi harian 5,37 gram dan dominan mengonsumsi bagian daging, analisis risiko kesehatan berdasarkan data default menunjukkan nilai *Risk Quotient* (RQ) Hg dan Cd >1 pada lokasi Pemukiman dan PLTU sehingga berisiko, namun berdasarkan data konsumsi riil di lapangan seluruh pajanan dinyatakan aman, nilai *Metal Pollution Index* (MPI) tertinggi ditemukan di lokasi Pemukiman (0,4) dan PLTU (0,3), batas aman konsumsi tertinggi berada di lokasi Bekas Tambang Batubara dengan rata-rata 483,241 gram/hari, serta pengendalian risiko dapat dilakukan melalui teknologi perendaman ikan, penyuluhan masyarakat, dan pengawasan rutin oleh instansi terkait.

**Kata Kunci :** Ikan masai, Analisis Risiko Kesehatan, Risk Quotient, Pola Konsumsi, Kota Sawahlunto.

## **ABSTRACT**

*The potential for heavy metal contamination along the Batang Ombilin River due to illegal sand and gold mining activities, abandoned mining areas, and coal-fired power plants (PLTUs), can accumulate in fish bodies, leading to human health problems if consumed. This study aimed to analyze the consumption pattern of Masai fish (*Mystacoleucus marginatus*) in Sawahlunto City, assess health risks due to Hg and Cd exposure based on field and default data, analyze the Metal Pollution Index (MPI) using secondary data, determine the safe consumption limit of Masai fish, and provide recommendations for health risk management. The study employed an observational method with an Environmental Health Risk Assessment (EHRA) approach. Consumption pattern data were obtained through questionnaires administered to 100 Masai fish consumers in Nagari Talawi, while Hg and Cd concentration data in fish and water were obtained from secondary sources. The results showed that Masai fish consumption among the Sawahlunto community was relatively infrequent (average of two times per month), with a daily intake of 5.37 g and a predominance of consuming only the fish muscle. Health risk analysis based on default data indicated Risk Quotient (RQ) values for Hg and Cd greater than 1 at residential and PLTU locations, indicating potential health risks; however, based on actual field consumption data, all exposure levels were considered safe. The highest Metal Pollution Index (MPI) values were found in the residential area (0.4) and PLTU (0.3). The highest safe consumption limit was observed at the former coal mining area, with an average value of 483.241 g/day. Risk control measures may be implemented through fish soaking technologies, public education, and routine monitoring by relevant authorities.*

**Keywords:** Masai fish, Health Risk Analysis, Risk Quotient, Consumption Pattern, Sawahlunto City.

## KATA PENGANTAR

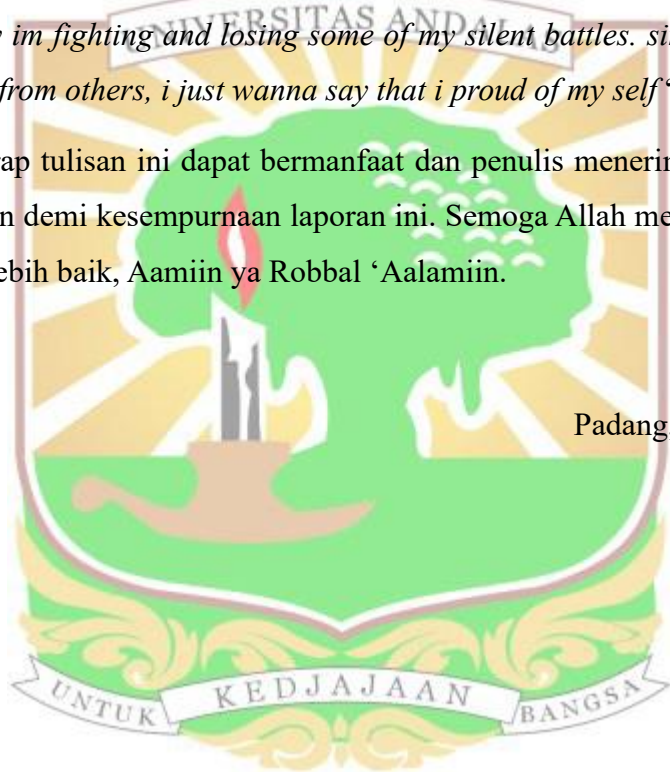


Alhamdulillahirabbil'aalamiin, segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Merkuri (Hg) Dan Kadmium(Cd) Terhadap Pola Konsumsi Ikan Masai (*Mystacoleucus Marginatus*) Masyarakat Kota Sawahlunto** 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 Yuhelmi dan Ibu Yusri Etti 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. Ibu Tivany Edwin, M.Eng selaku penguji I dan Bapak Prof. Denny Helard, S.T., M.T., Ph.D 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. Ibu Yommi Dewilda, M.T. sebagai dosen Penasehat Akademik (PA) yang telah membantu dan membimbing saya dalam menjalani setiap tahapan perkuliahan ini;
7. Kepada kawan seperjuangan Tugas Akhir penulis, M. Farras Zhafran yang senantiasa menemani dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini;
8. Teman-teman penulis yaitu Farras, Fauzan, Yusuf dan teman-teman lain terutama REPUBLIC OF BAPAK dan yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah memberi bantuan dan dukungan dalam penelitian Tugas Akhir;
9. Yulandra Helmi, ya! Diri saya sendiri. *“I’m proud of myself, most people don’t know my story, my struggle, my hustle and my prayers. majority of people don’t know how im fighting and losing some of my silent battles. since i don’t hear this often from others, i just wanna say that i proud of my self“*

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, 10 januari 2026

Wassalam,

Yulandra Helmi



## DAFTAR ISI

|  |             |
|--|-------------|
| <b>ABSTRAK .....</b>   | <b>i</b>    |
| <b><i>ABSTRACT</i> .....</b>                                     | <b>ii</b>   |
| <b>KATA PENGANTAR.....</b>                                       | <b>iii</b>  |
| <b>DAFTAR ISI.....</b>   | <b>v</b>    |
| <b>DAFTAR GAMBAR .....</b>                                       | <b>viii</b> |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>  | <b>ix</b>   |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>                                     | <b>xi</b>   |
| <b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>                                    | <b>1</b>    |
| 1.1 Latar Belakang .....   | 1           |
| 1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian .....                           | 4           |
| 1.3 Manfaat Penelitian .....                                     | 5           |
| 1.4 Batasan Masalah.....   | 5           |
| 1.5 Sistematika Penulisan.....                                   | 7           |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>                              | <b>7</b>    |
| 2.1 Sungai.....  | 7           |
| 2.2 Sedimen.....   | 8           |
| 2.3 Logam Berat.....   | 9           |
| 2.4 Ikan masai ( <i>Mystacoleucus marginatus</i> ).....          | 10          |
| 2.5. Merkuri (Hg) .....  | 11          |
| 2.6 Kadmium (Cd).....  | 11          |
| 2.7 Kontaminasi Merkuri (Hg) dan Kadmium (Cd) di Ekosistem ..... | 12          |
| 2.8 Skema Paparan Logam Berat Merkuri (Hg) dan Kadmium (Cd)..... | 13          |
| 2.9 Pola Konsumsi Ikan oleh Masyarakat Kota Sawahlunto .....     | 15          |
| 2.10 Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan .....                  | 16          |
| 2.11 Penelitian Terkait .....                                    | 19          |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>                      | <b>23</b> |
| 3.1 Tahapan Penelitian .....                                | 23        |
| 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian .....                       | 23        |
| 3.3 Studi Literatur.....                                    | 25        |
| 3.4 Pengumpulan Data Sekunder .....                         | 25        |
| 3.5 Survei Lapangan.....                                    | 27        |
| 3.6 Uji Validitas dan Reliabilitas .....                    | 28        |
| 3.7 Penyebaran Kuisisioner.....                             | 28        |
| 3.8 Analisis Kuesioner .....                                | 29        |
| 3.8.1 Karakteristik Responden.....                          | 30        |
| 3.8.2 Analisis Pola Konsumsi Ikan Masai .....               | 30        |
| 3.8.3 Analisis <i>Metal Pollution Index</i> (MPI).....      | 30        |
| 3.8.4 Analisis Data Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL)..... | 31        |
| <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>                     | <b>35</b> |
| 4.1 Umum.....   | 35        |
| 4.2 Karakteristik Responden .....                           | 36        |
| 4.2.1 Jenis Kelamin.....                                    | 37        |
| 4.2.2 Umur .....  | 37        |
| 4.2.3 Status Perkawinan.....                                | 38        |
| 4.2.4 Berat Badan.....                                      | 39        |
| 4.2.5 Pendidikan .....                                      | 39        |
| 4.2.6 Pekerjaan.....  | 40        |
| 4.3 Kondisi Eksisting Lapangan.....                         | 41        |
| 4.4 Analisis Pola Konsumsi Ikan Masai.....                  | 42        |
| 4.5 Analisis <i>Metal Pollution Index</i> (MPI) .....       | 43        |
| 4.6 Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL).....        | 44        |

|  |           |
|--|-----------|
| 4.6.1 Identifikasi Bahaya ( <i>Hazard-Identification</i> ).....                            | 44        |
| 4.6.2 Analisis Dosis Respon ( <i>Dose-Respon Assessment</i> ) .....                        | 46        |
| 4.6.3 Analisis Paparan (( <i>Exposure Assessmen</i> ).....                                 | 47        |
| 4.6.3.1 Analisis Paparan Ikan Masai Bagian Daging dan Kepala Nilai<br><i>Default</i> ..... | 47        |
| 4.6.3.2 Analisis Paparan Ikan Masai Semua Bagian Nilai <i>Default</i> .....                | 53        |
| 4.6.3.3 Perbedaan Nilai <i>Default</i> dan Nilai <i>Real</i> .....                         | 60        |
| 4.6.4 Karakterisasi Risiko.....  | 63        |
| 4.6.4.1 Karakterisasi Risiko Ikan Masai Bagian Daging dan Kepala Ikan                      | 64        |
| 4.6.4.2 Karakterisasi Risiko Ikan Masai Seluruh Bagian .....                               | 65        |
| 4.6.5 Pengelolaan Risiko .....   | 68        |
| 4.6.5.1 Penentuan Batas Aman.....  | 69        |
| 4.7.5.2 Penapisan Alternatif Pengelolaan Risiko .....                                      | 71        |
| 4.6.6 Komunikasi Risiko .....  | 72        |
| <b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>  | <b>73</b> |
| 5.1 Kesimpulan.....  | 73        |
| 5.2 Saran.....   | 74        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>   | <b>75</b> |



## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| Gambar 2.1 Ikan Masai atau Genggehek ( <i>Mystacoleucus marginatus</i> )..... | 10 |
| Gambar 2.2 Skema Paparan Logam Hg dan Cd.....                                 | 14 |
| Gambar 3.1 Lokasi Penyebaran Kuesioner.....                                   | 24 |
| Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian.....                                       | 24 |
| Gambar 4.1 Lokasi Titik Pengambilan Ikan Masai.....                           | 36 |





## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| Tabel 2.1 Penelitian Terkait.....   | 19 |
| Tabel 3.1 Konsentrasi Logam Berat Pada Air .....  | 25 |
| Tabel 3.2 Konsentrasi Logam Berat Pada Ikan .....                                       | 26 |
| Tabel 3.3 Deskripsi Lokasi Penyebaran Kuesioner.....                                    | 27 |
| Tabel 3.4 Jumlah Penduduk .....   | 29 |
| Tabel 3.5 <i>Food Frequency Method</i> .....  | 30 |
| Tabel 3.6 Parameter Perhitungan Intake Paparan Hg dan Cd .....                          | 32 |
| Tabel 3.7 Interpretasi <i>Risk Quotient</i> (RQ).....                                   | 33 |
| Tabel 4.1 Distribusi Frekuensi Jenis Kelamin Responden.....                             | 36 |
| Tabel 4.2 Distribusi Frekuensi Umur Responden .....                                     | 38 |
| Tabel 4.3 Distribusi Frekuensi Status Perkawinan Responden.....                         | 38 |
| Tabel 4.4 Distribusi Frekuensi Berat Badan Responden.....                               | 39 |
| Tabel 4.5 Distribusi Frekuensi Pendidikan Responden.....                                | 40 |
| Tabel 4.6 Distribusi Frekuensi Pekerjaan Responden.....                                 | 41 |
| Tabel 4.7 Analisis <i>Metal Pollution Index</i> (MPI) .....                             | 43 |
| Tabel 4.8 Identifikasi Bahaya Hg dan Cd .....   | 45 |
| Tabel 4.9 Rekapitulasi Perhitungan Nilai <i>Default</i> .....                           | 59 |
| Tabel 4.10 Berat Badan (Wb).....  | 60 |
| Tabel 4.11 Parameter Laju Konsumsi Ikan Masai (Nilai Asumsi untuk Analisis Risiko)..... | 60 |
| Tabel 4.12 Frekuensi dan Durasi Paparan.....  | 60 |
| Tabel 4.13 Data Default .....   | 61 |
| Tabel 4.14 Data Real .....  | 62 |
| Tabel 4.15 Rekapitulasi Perhitungan Nilai <i>Real</i> .....                             | 63 |
| Tabel 4.16 Rekapitulasi Nilai RQ Hg Daging dan Kepala Ikan .....                        | 64 |
| Tabel 4.17 Rekapitulasi Nilai RQ Cd Daging dan Kepala Ikan.....                         | 65 |
| Tabel 4.18 Rekapitulasi Nilai RQ Hg Seluruh Ikan .....                                  | 66 |
| Tabel 4.19 Rekapitulasi Nilai RQ Cd Seluruh Ikan .....                                  | 66 |
| Tabel 4.20 Interpretasi Nilai RQ Paparan Hg dan Cd pada Ikan .....                      | 67 |
| Tabel 4.21 Nilai Cnk Aman.....  | 69 |

|  |    |
|--|----|
| Tabel 4.22 Nilai Rnk Aman.....                           | 70 |
| Tabel 4.23 Penapisan Alternatif Pengelolaan Risiko ..... | 72 |
| Tabel 4.24 Penapisan Alternatif Komunikasi Risiko .....  | 72 |



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Kuesioner Penelitian

Lampiran B. Uji Validitas dan Realibilitas Kuesioner

Lampiran C. Perhitungan Data

Lampiran D. Dokumentasi Penelitian

Lampiran E. Pedoman Terkait



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sungai berperan penting bagi kehidupan dan ekosistem, namun terancam oleh pencemaran limbah domestik dan industri yang menurunkan kualitas air. Kondisi ini membahayakan fungsi sungai sebagai sumber air bersih dan habitat biota, sekaligus mengancam kesehatan masyarakat. Oleh karena itu, diperlukan pengelolaan sungai yang lebih baik melalui pengawasan limbah ketat dan penerapan teknologi pengolahan air limbah untuk menjaga kelestariannya Djoharam et al. (2018). Logam berat dari limbah industri, pertanian, dan rumah tangga mencemari perairan dan masuk ke tubuh manusia melalui rantai makanan dari fitoplankton hingga ikan besar yang dikonsumsi. Konsentrasi zat berbahaya seperti Hg, Pb, dan Cd meningkat seiring jenjang rantai makanan. Akumulasi logam berat dalam tubuh dapat menyebabkan gangguan saraf, ginjal, hingga kanker. Karena itu, pengawasan ketat pembuangan limbah dan pemantauan kualitas air sangat penting untuk melindungi ekosistem dan kesehatan masyarakat Alik et al. (2022).

Menurut Gyimah et al. (2019), logam berat seperti Hg, As, Cd, dan Pb bersifat toksik meski dalam konsentrasi rendah dan tidak memiliki manfaat bagi manusia, di mana paparan kronis dapat membahayakan kesehatan. Pencemaran oleh Hg dan Cd telah menjadi masalah global karena dampaknya terhadap kesehatan dan ekosistem (WHO, 2017). Logam berat ini terakumulasi dalam organisme air, termasuk ikan sebagai sumber protein utama masyarakat. Ikan masai sebagai komoditas populer berisiko menjadi pembawa logam berat jika berasal dari perairan tercemar USEPA, (2000).

Berdasarkan Aspek Buku Putih Sanitasi Kota Sawahlunto (2011) penyebab pencemaran yang terjadi di Sungai Batang Ombilin yaitu pembuangan limbah dari permukiman, industri PLTU, PDAM, serta aktivitas pertambangan emas, batubara, dan pasir besi ke badan 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 berpotensi mengalami pencemaran logam berat (PP RI, 2001). Aktivitas manusia seperti pembuangan limbah industri, penggunaan pupuk kimia, dan pertambangan dapat meningkatkan konsentrasi Hg dan Cd di perairan Ikan yang hidup di perairan tercemar dapat menyerap logam berat tersebut melalui insang atau makanan, yang kemudian berpotensi berdampak pada kesehatan konsumen (WHO, 2017). Analisis risiko kesehatan diperlukan untuk mengidentifikasi tingkat paparan dan dampak kesehatan yang mungkin timbul akibat konsumsi ikan yang terkontaminasi Hg dan Cd (USEPA, 2000). Studi ini bertujuan untuk memberikan gambaran mengenai risiko kesehatan yang dihadapi oleh konsumen ikan masai di Sawahlunto, serta memberikan rekomendasi untuk mengurangi dampak negatifnya.

Menurut penelitian Fauzan (2024), Logam Hg pada ikan masai tertinggi didapatkan pada organ isi perut pada ikan masai di lokasi pemukiman yaitu 0,493 mg/kg dan terendah pada organ daging Ikan Masai di lokasi Bekas Tambang Batubara 0,002 mg/kg. Konsentrasi Logam Hg pada ikan masai dapat dilihat konsentrasi logam berat Hg masih dibawah Baku Mutu FAO/WHO tahun 2004 di mana Baku Mutu dari logam berat Hg adalah sebesar 0,5 mg/kg. Sedangkan kandungan logam Cd pada Ikan masai yang umum masih berada di bawah Baku Mutu FAO/WHO 2004 yaitu 0,1 mg/kg, kecuali logam pada isi perut ikan masai dari dua daerah yaitu Daerah Permukiman dan PLTU yang memiliki Nilai konsentrasi logam berat Cd masing-masing sebesar  $0,424 \pm 0,309$  mg/kg dan  $0,323 \pm 0,124$  mg/kg. Walaupun isi perut ikan masai melebihi baku mutu, ikan masai masih dapat dikonsumsi karena isi perut pada ikan umumnya dibuang dan tidak dikonsumsi apabila ukuran ikan tersebut tergolong besar.

Logam berat Hg dan Cd merupakan logam berat yang sangat beracun dan bersifat persisten di lingkungan, sehingga mudah terakumulasi dalam rantai makanan, terutama pada biota air seperti ikan. Kedua logam ini dilepaskan ke lingkungan melalui berbagai aktivitas antropogenik, seperti pembakaran batubara, pertambangan emas, dan limbah industri logam di sekitar kawasan Sungai Batang Ombilin.

Dalam lingkungan perairan, logam berat Hg tidak hanya ditemukan dalam bentuk unsur logam ( $\text{Hg}^0$ ), tetapi juga dalam bentuk senyawa anorganik dan organik. Beberapa bentuk senyawa anorganik Hg yang umum dijumpai antara lain merkuri(II) klorida ( $\text{HgCl}_2$ ) dan merkuri sulfida ( $\text{HgS}$ ), yang berasal dari limbah industri dan proses pelapukan mineral alami (Usman, 2021). Namun, bentuk yang paling berbahaya bagi manusia adalah metilmerkuri ( $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ ), yang terbentuk akibat proses metilasi biologis oleh bakteri anaerob di sedimen perairan. Metilmerkuri bersifat larut dalam lemak (lipofilik), sehingga mudah terakumulasi dalam jaringan ikan dan berpindah ke manusia melalui rantai makanan. Paparan jangka panjang metilmerkuri dapat menyebabkan gangguan sistem saraf, gangguan perkembangan janin, tremor, serta gangguan kognitif (WHO, 2017).

Sementara itu, logam berat Cd di lingkungan perairan umumnya hadir dalam bentuk senyawa anorganik seperti kadmium klorida ( $\text{CdCl}_2$ ), kadmium sulfat ( $\text{CdSO}_4$ ), dan kadmium oksida ( $\text{CdO}$ ). Sumber utama pelepasan Cd berasal dari aktivitas industri pelapisan logam, pembakaran batubara, pupuk fosfat, serta limbah dari pertambangan logam berat (Sariningtyas, 2020). Ion  $\text{Cd}^{2+}$  yang terlarut dalam air dapat berikatan dengan senyawa organik maupun anorganik, mengendap ke dalam sedimen, lalu terserap oleh organisme air melalui insang atau rantai makanan. Kadmium memiliki sifat bioakumulatif dan toksik kronis, yang dapat menyebabkan kerusakan ginjal, gangguan tulang, anemia, jika terpapar dalam jangka panjang (WHO, 2017; USEPA, 2022).

Pada ikan masai (*Mystacoleucus marginatus*), proses bioakumulasi terjadi ketika logam berat Hg dan Cd yang terlarut di air maupun sedimen terserap melalui insang, kulit, serta makanan seperti fitoplankton dan detritus. Karena ikan masai hidup di dasar sungai dan bersifat omnivora, maka akumulasi logam terutama terjadi di organ metabolik seperti hati dan insang, sedangkan kadar lebih rendah ditemukan pada daging. Selanjutnya, proses biomagnifikasi menyebabkan peningkatan kadar logam berat pada setiap tingkat rantai makanan. Logam berat dari sedimen diserap oleh organisme kecil, lalu berpindah ke ikan masai, dan akhirnya ke manusia yang mengonsumsinya. Bentuk metilmerkuri ( $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ ) sangat mudah terakumulasi karena bersifat larut dalam lemak dan sulit

dikeluarkan dari tubuh. Akibatnya, konsumsi ikan masai secara terus-menerus dari perairan tercemar dapat meningkatkan risiko kesehatan, terutama terhadap sistem saraf untuk logam Hg dan fungsi ginjal serta tulang untuk logam berat Cd.

Kandungan logam berat pada ikan masai (*Mystacoleucus marginatus*) di Sungai Batang Ombilin Sawahlunto berpotensi menimbulkan risiko kesehatan bagi masyarakat yang mengonsumsinya. Perlu dilakukan analisis ulang terhadap kadar logam berat Hg dan Cd pada air, sedimen, dan daging ikan, mengingat adanya perubahan aktivitas antropogenik dalam tiga tahun terakhir di sepanjang sungai. Penelitian Fauzan, (2024) hanya mengukur kadar logam tanpa mengevaluasi tingkat risiko kesehatan akibat konsumsi ikan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis risiko kesehatan dari paparan logam berat Hg dan Cd pada konsumen ikan masai di wilayah tersebut sebagai upaya pencegahan dan perlindungan kesehatan masyarakat.

Penelitian ini juga melanjutkan tentang pola konsumsi masyarakat Kota Sawahlunto terhadap ikan masai dan mengenai tingkat analisis risiko logam berat akibat konsumsi ikan masai belum dilakukan, karena kedua bentuk senyawa tersebut memiliki daya racun tinggi, kemampuan akumulasi biologis yang besar, serta potensi menimbulkan risiko kesehatan non-karsinogenik pada masyarakat yang mengonsumsi ikan masai sehingga perlu dianalisis lebih lanjut paparan logam Hg dan Cd. 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 antara lain:

1. Analisis pola konsumsi ikan masai (*Mystacoleucus marginatus*) di Kota Sawahlunto;
2. Analisis risiko kesehatan logam Hg dan Cd 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 Fauzan, (2024);
4. Menghitung batas aman konsumsi Ikan Masai yang terbukti memiliki risiko Kesehatan;
5. Memberikan rekomendasi pengelolaan risiko Kesehatan pada Masyarakat Kota Sawahlunto.

### 1.3 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

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;

### 1.4 Batasan Masalah

Ruang lingkup penelitian ini meliputi:

1. Penelitian menggunakan metode observasional;
2. Konsentrasi logam Hg dan Cd pada ikan masai (*Mystacoleucus marginatus*) menggunakan data sekunder dari penelitian terdahulu, penelitian (Fauzan, 2024);
3. Kuesioner disebarakan terhadap responden yang merupakan konsumen di Kota Sawahlunto;
4. Metode analisis risiko yang digunakan yaitu Analisis 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 Quotient* (RQ) berdasarkan Buku Pedoman ARKL;
9. Penelitian ini akan menilai batas konsumsi ikan Masai yang aman dengan mempertimbangkan konsentrasi logam berat Hg dan Cd 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 pada tahun 2024, 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;

## **1.5 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**

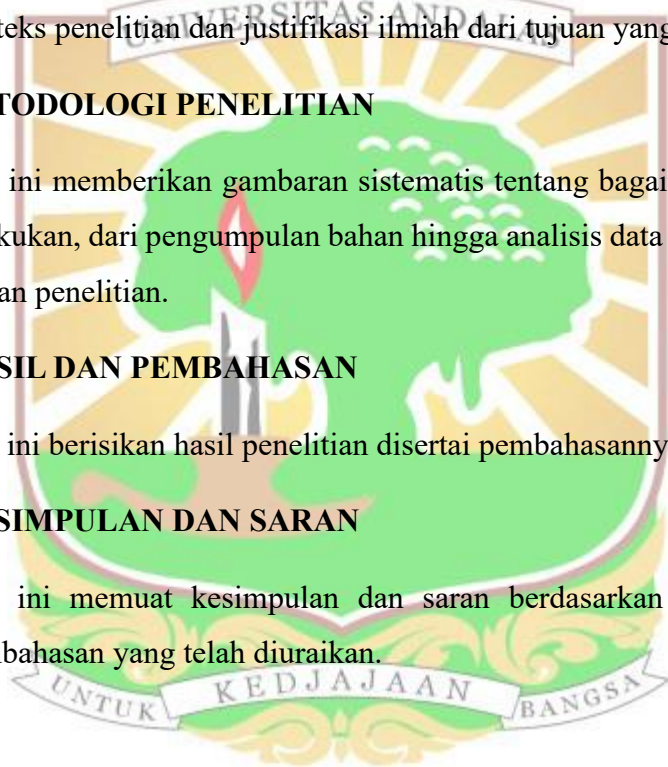
Bab ini memberikan gambaran sistematis tentang bagaimana penelitian dilakukan, dari pengumpulan bahan hingga analisis data untuk mencapai tujuan penelitian.

### **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**

Dalam penelitian Eldrin (2019), sungai merupakan air permukaan yang banyak digunakan untuk keperluan masyarakat. Sungai biasanya digunakan untuk tempat penampungan air, sarana transportasi, pengairan sawah, keperluan peternakan, keperluan industri, perumahan, ketersediaan air, irigasi, tempat memelihara ikan dan juga sebagai tempat rekreasi. Berbagai aktivitas manusia yang dilakukan di aliran sungai menyebabkan pencemaran dan berdampak pada terjadinya penurunan kualitas air. Pencemaran logam berat paling banyak ditemukan pada air sungai yang digunakan sebagai lokasi penambangan. Limbah pertambangan akan menimbulkan dampak yang kurang menguntungkan bagi lingkungan sekitar sehingga dapat menimbulkan masalah pencemaran lingkungan. Penyebab pencemaran logam berat pada perairan biasanya berasal dari zat-zat yang terkontaminasi oleh limbah buangan industri dan pertambangan. Adanya peningkatan serta kontinuitas buangan air limbah industri yang mengandung senyawa logam berat beracun, cepat atau lambat akan merusak ekosistem di sungai. Logam berat sukar mengalami pelapukan, baik secara fisika, kimia, maupun biologis. Logam berat yang sering dijumpai dalam perairan adalah timbal (Pb), tembaga (Cu) dan Kadmium (Cd).

Aktivitas manusia dan industri telah menimbulkan dampak serius terhadap kelestarian ekosistem laut dan pesisir, di mana berbagai kegiatan industri, permukiman, dan komersial menyebabkan pencemaran laut dalam skala mengkhawatirkan dengan sekitar 368 juta ton sampah plastik dari daratan mengalir ke sungai dan laut setiap tahunnya. Sampah plastik ini tidak hanya menumpuk di daerah pesisir, tetapi menyebar hingga wilayah terpencil melalui arus laut, gelombang pasang-surut, angin, dan aliran sungai, bahkan ditemukan di perairan Antartika, dasar Samudra Atlantik, dan pulau-pulau terisolasi, menjadikan plastik sebagai polutan buatan manusia paling dominan di ekosistem laut global. Kini tidak ada lagi wilayah laut yang benar-benar bebas dari kontaminasi plastik dari permukaan hingga dasar laut, dari tropis hingga kutub sehingga dampaknya terhadap biota laut, rantai makanan, dan kesehatan manusia semakin nyata dan

memerlukan penanganan serius segera (Jui, Miah, Islam, & Sarwar, 2025).

Aktivitas manusia modern seperti industri, pertambangan, pertanian intensif, ekspansi perkotaan, dan peternakan telah mencemari sungai, danau, dan muara serta laut melalui berbagai polutan kimia dan organik. Limbah industri mengandung logam berat, pertanian menyumbang pupuk dan pestisida, sementara perkotaan menghasilkan sampah dan limbah domestik - semuanya mengalir ke perairan permukaan baik secara langsung maupun melalui aliran permukaan. Pencemaran ini tidak hanya menurunkan kualitas air tetapi juga mengancam ekosistem perairan dan kesehatan masyarakat yang bergantung pada sumber air tersebut Dueñas-Moreno et al. (2024).

Dalam penelitian Dueñas-Moreno et al. (2024), kontaminan air mencakup berbagai macam bahan kimia dan partikel yang memiliki struktur yang beragam seperti elemen jejak dan metaloid yang beracun, senyawa organologam, senyawa organik alami dan sintetis, nanopartikel logam, dan nano dan mikroplastik. Elemen jejak dan logam berat masih menjadi polutan paling kritis di perairan karena toksisitasnya yang tinggi pada konsentrasi rendah, sifatnya yang tidak dapat diurai secara biologis, mobilitas tinggi dalam sistem perairan, dan sifat bioakumulasi baik pada jaringan tumbuhan maupun hewan Briffa et al, (2020). Kehadiran unsur-unsur ini dalam sumber daya air mungkin disebabkan oleh faktor geogenik, seperti yang ditunjukkan dalam sistem multi-akuifer yang kompleks. Namun, aktivitas antropogenik merupakan penyebab utama pencemaran sumber daya air dengan elemen jejak dan logam berat, seperti yang telah diamati di daerah aliran sungai besar di berbagai negara.

## **2.2 Sedimen**

Tanah atau bagian-bagian tanah yang terangkut oleh air dari suatu tempat yang mengalami erosi pada suatu daerah aliran sungai dan masuk kedalam suatu badan air secara umum disebut sedimen. Sedimen yang dihasilkan oleh proses erosi dan terbawa oleh aliran air akan diendapkan pada suatu tempat yang kecepatan alirannya melambat atau terhenti. Peristiwa pengendapan ini dikenal dengan peristiwa atau proses sedimentasi Sembiring et al. (2016). Proses sedimentasi berjalan sangat kompleks, dimulai dari jatuhnya hujan yang menghasilkan energi kinetik yang merupakan permulaan dari proses erosi. Begitu tanah menjadi partikel



halus, lalu menggelinding bersama aliran, sebagian akan tertinggal di atas tanah sedangkan bagian lainnya masuk ke sungai terbawa aliran menjadi angkutan sedimen.

Faktor yang mempengaruhi besarnya produksi sedimen sebagai berikut:

1. Bentuk, ukuran, kemiringan dari jaringan drainase;
2. Tipe tanah dan formasi geologi;
3. Bentuk dan ukuran waduk atau danau;
4. Penutup lahan dan perubahan penggunaan lahan;
5. Frekuensi terjadi banjir dan intensitas curah hujan;
6. Topografi.

Dalam penelitian Sembiring et al. (2016), partikel-partikel kasar yang bergerak sepanjang dasar sungai secara keseluruhan disebut dengan muatan sedimen dasar (*bed load*). Adanya muatan sedimen dasar ditunjukkan oleh gerakan partikel-partikel dasar sungai. Gerakan itu dapat bergeser, menggelinding, atau meloncat-loncat, akan tetapi tidak pernah lepas dari dasar sungai. Gerakan ini kadang dapat sampai jarak tertentu dengan ditandai bercampurnya butiran partikel tersebut bergerak ke arah hilir.

### **2.3 Logam Berat**

Logam berat seperti timbal (Pb), merkuri (Hg), kadmium (Cd), dan arsenik (As) merupakan zat berbahaya dengan sifat toksik yang tinggi. Meskipun secara alami dilepaskan melalui aktivitas vulkanik dan pelapukan batuan, aktivitas industri dan urbanisasi telah memperparah penyebarannya di lingkungan melalui pencemaran air, udara, dan tanah. Manusia terpapar logam berat terutama melalui polusi udara, konsumsi air dan makanan terkontaminasi, serta kontak kulit. Karena sifatnya yang persisten dan tidak terurai, logam berat terakumulasi dalam rantai makanan dan lingkungan, menyebabkan berbagai masalah kesehatan serius termasuk penyakit kardiovaskular, gangguan saraf, serta kerusakan organ vital. Kondisi ini mengharuskan implementasi sistem pemantauan lingkungan yang ketat dan regulasi industri yang lebih tegas untuk melindungi kesehatan masyarakat. Penyakit kardiovaskular merupakan penyakit yang paling utama Shen et al. (2025). Pencemaran logam berat tidak hanya menurunkan kualitas air hingga tidak lagi memenuhi standar peruntukannya, tetapi juga berdampak serius pada biota perairan



akibat sifatnya yang mudah terakumulasi dalam tubuh organisme. Proses akumulasi ini terjadi melalui penyerapan logam berat yang masuk via sistem pernapasan (seperti insang pada ikan) dan sistem pencernaan (melalui makanan). Secara bertahap, konsentrasi logam berat dalam jaringan tubuh organisme perairan akan terus meningkat dan pada akhirnya dapat menyebabkan kematian organisme tersebut Shen et al. (2025).

#### 2.4 Ikan masai (*Mystacoleucus marginatus*)

Ikan Masai atau Genggehek (*Mystacoleucus marginatus*) merupakan ikan air tawar yang termasuk dalam *family Cyprinidae* (Lancôt et al., 2016). Ikan ini berukuran kecil hingga sedang, dengan panjang total sekitar 200 mm. Ciri khasnya antara lain 26-29 garis horizontal di tubuhnya serta hidung yang memiliki empat sungut pendek. Tinggi tubuh di awal sisik punggung sekitar 2,7 kali panjang standar (panjang badan tanpa ekor). Panjang kepala berkisar 4,1–4,2 kali panjang standar. Awal sirip punggungnya sejajar dengan sisik garis paralel kesembilan atau kesepuluh, terletak 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>

Ikan genggehek biasanya hidup di sungai, terutama di wilayah perairan dalam seperti danau dan kolam, serta di mata air atau perairan danau. Makanan pokoknya adalah tumbuhan amfibi, tetapi bisa berubah sesuai lingkungan, termasuk bahan organik yang membusuk. Selain itu, ikan ini juga memakan serangga, berbagai jenis kerang, fitoplankton, zooplankton, serta makhluk kecil lainnya Fajri et al, (2022).

### 2.5. Merkuri (Hg)

Merkuri (air raksa) berasal dari bahasa Latin *Hydrargyrum*, yang berarti "air perak". Unsur kimia ini memiliki simbol Hg dengan nomor atom 80 dan berat atom 200,59 dalam tabel periodik. Sebagai logam transisi golongan II B, merkuri berwarna keperakan dan berbentuk cair pada suhu ruang, serta mudah menguap. Hg akan berubah menjadi padat jika diberi tekanan sebesar 7.640 atm. Sumber merkuri dapat berasal dari alam, industri, maupun aktivitas transportasi. Secara alami, merkuri dilepaskan melalui penguapan air laut dan emisi gas vulkanik. Sementara itu, limbah merkuri dari industri terutama dihasilkan oleh proses pengecoran logam dan berbagai industri yang menggunakan merkuri sebagai bahan baku atau bahan pendukung. Selain itu, pembakaran bahan bakar fosil juga berkontribusi terhadap pelepasan merkuri ke lingkungan. (Usman, 2021).

Terpaparnya zat Hg dalam lingkungan dapat mempengaruhi kualitas lingkungan itu sendiri apabila kandungan dari Hg tersebut melebihi dari baku mutu yang sudah ditentukan. Menurut Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 batas baku mutu Hg dalam air sungai adalah  $<0,001$  ppm. Maka dari itu penulis melakukan analisis dampak dari zat Hg terhadap lingkungan perairan.

### 2.6 Kadmium (Cd)

Cd merupakan salah satu jenis logam berat yang secara alami dapat ditemukan di lingkungan perairan. Di air, Cd biasanya terikat dengan berbagai ligan baik anorganik maupun organik, membentuk senyawa seperti ion  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{CdCl}^+$ ,  $\text{Cd}(\text{OH})^+$ , maupun dalam bentuk senyawa kompleks seperti  $\text{CdCO}_3$ ,  $\text{CdSO}_4$ , atau senyawa organik lainnya. Secara fisik, kadmium memiliki penampilan mengkilap berwarna putih keperakan yang mirip dengan aluminium. Logam ini dikenal memiliki ketahanan yang baik terhadap korosi dan tetap stabil meskipun berada pada suhu tinggi. Dalam bentuk alaminya, Cd jarang ditemukan dalam keadaan murni, melainkan lebih sering terkandung dalam bijih logam lain seperti tembaga, seng, dan timbal. Pemanfaatan Cd dalam industri cukup beragam karena sifat-sifat unik yang dimilikinya. Beberapa aplikasi utamanya meliputi:

1. Sebagai bahan pelapis anti-korosi untuk melindungi logam lain;
2. Berfungsi sebagai stabilizer pada produksi material PVC;
3. Dimanfaatkan sebagai penyerap neutron dalam reaktor nuklir;

4. Merupakan komponen penting dalam pembuatan baterai isi ulang jenis nikel-Cd.

Selain itu, Cd juga memiliki peran penting dalam berbagai proses industri lainnya. Logam ini digunakan dalam proses elektroplating (pelapisan logam secara elektrolisis), sebagai bahan pewarna (*pigmen*) dalam industri cat khususnya warna kuning dan merah, serta dalam pembuatan berbagai produk plastik dan lapisan enamel. Namun perlu diperhatikan bahwa meskipun bermanfaat, Cd termasuk logam berat beracun yang dapat menimbulkan dampak negatif bagi kesehatan dan lingkungan jika tidak dikelola dengan baik (Sariningtyas, 2020).

Cd adalah logam berat beracun yang berbahaya bagi manusia dan makhluk hidup lainnya. Paparan akut dapat menyebabkan keracunan dengan gejala muncul dalam 4-10 jam setelah terpapar. Logam ini terutama merusak ginjal, paru-paru, dan tulang. Ketika kadar Cd dalam tubuh mencapai 50 mg, akan memicu berbagai gangguan kesehatan seperti mual, anemia, tulang keropos, kerusakan sumsum tulang, masalah pencernaan, gangguan metabolisme kalsium, gagal ginjal, pertumbuhan tumor, tekanan darah tinggi, kerusakan hati, penurunan kesuburan, hingga mutasi genetik. Efek toksiknya bersifat kumulatif, di mana paparan terus-menerus meski dalam dosis rendah tetap berbahaya dalam jangka panjang (Sariningtyas, 2020).

## **2.7 Kontaminasi Merkuri (Hg) dan Kadmium (Cd) di Ekosistem**

Logam berat seperti tembaga (Cu), seng (Zn), dan besi (Fe) termasuk logam esensial yang berperan penting dalam metabolisme ikan. Namun, logam berat lain seperti Hg, Cd, dan Pb belum diketahui manfaat metaboliknya dan justru bersifat racun bagi ikan. Cd sebagai unsur dalam tabel periodik banyak mencemari perairan akibat aktivitas manusia. Logam berat ini masuk ke tubuh organisme air melalui tiga jalur utama:

1. endositosis seluler;
2. penyerapan langsung dari air melalui insang atau permukaan tubuh;
3. konsumsi melalui makanan dan sedimen.

Dengan demikian, meski beberapa logam dibutuhkan dalam jumlah kecil, logam toksik seperti Cd berpotensi membahayakan organisme air jika terakumulasi berlebihan (Rahadian, 2018).

Cd tidak terdistribusi secara merata dalam tubuh organisme perairan, melainkan terkonsentrasi pada jaringan atau organ tertentu dengan tingkat akumulasi yang lebih tinggi. Setelah masuk ke dalam sistem tubuh, Cd bersifat toksik dengan cara mengganggu fungsi enzim-enzim metabolik dan menghambat proses metabolisme normal. Akumulasi Cd pada ikan dapat memicu perubahan baik secara patofisiologis (gangguan fungsi organ) maupun patomorfologis (perubahan struktur jaringan). Secara ekotoksikologis, proses akumulasi Cd dalam rantai makanan terbagi menjadi tiga kategori (Rahadian, 2018):

1. Biokonsentrasi: Penyerapan langsung Cd dari media air oleh organisme;
2. Bioakumulasi: Peningkatan konsentrasi Cd dalam tubuh organisme seiring waktu;
3. Biomagnifikasi: Peningkatan kadar Cd pada organisme dengan tingkat trofik lebih tinggi dalam rantai makanan.

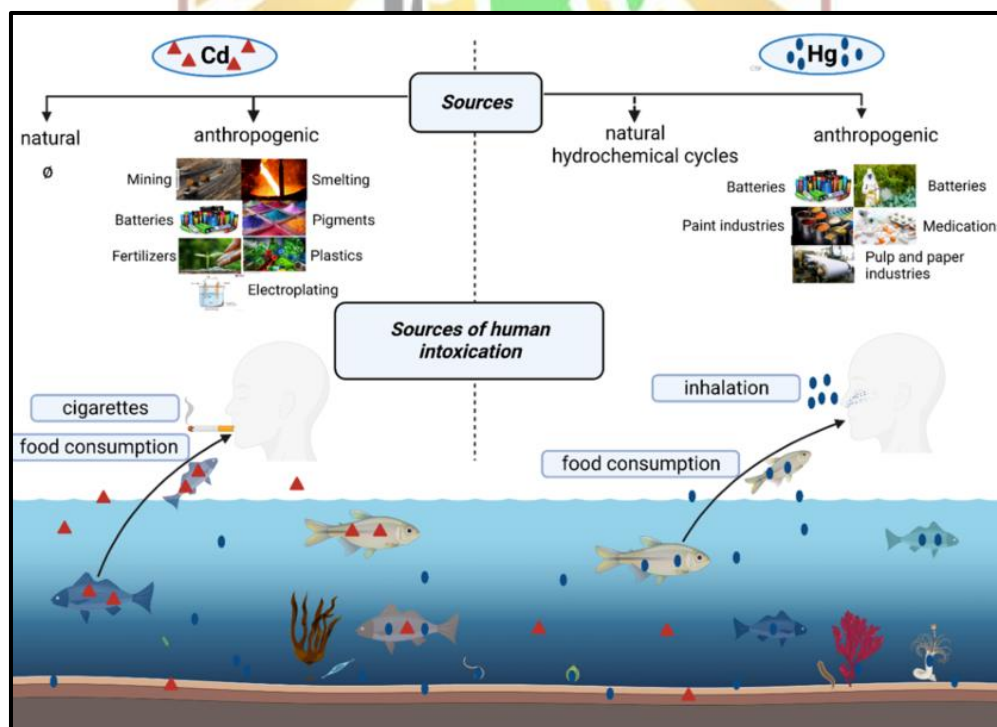
## **2.8 Skema Paparan Logam Berat Merkuri (Hg) dan Kadmium (Cd)**

Pada penelitian (Naija & Yalcin, 2023), menggambarkan sumber, jalur paparan, serta mekanisme masuknya logam berat kadmium (Cd) dan merkuri (Hg) ke dalam tubuh manusia melalui lingkungan perairan. Pada sisi kiri gambar, Cd ditunjukkan tidak memiliki sumber alami yang signifikan, sehingga keberadaannya di lingkungan terutama disebabkan oleh aktivitas antropogenik seperti penambangan dan peleburan logam, industri baterai, pigmen, pupuk, plastik, serta proses elektroplating. Aktivitas-aktivitas tersebut melepaskan Cd ke tanah, udara, dan air, yang selanjutnya mengendap di sedimen dan diserap oleh organisme akuatik. Sementara itu, pada sisi kanan gambar, Hg memiliki dua sumber utama, yaitu alami dan antropogenik. Sumber alami berasal dari siklus hidrogeokimia seperti penguapan dari laut dan aktivitas vulkanik, sedangkan sumber antropogenik berasal dari industri baterai, cat, pulp dan kertas, serta obat-obatan. Kedua logam berat ini kemudian masuk ke ekosistem perairan dan terakumulasi melalui proses bioakumulasi dan biomagnifikasi di jaringan organisme air, khususnya ikan, yang menjadi sumber utama paparan bagi manusia.

Manusia dapat terpapar Cd terutama melalui dua jalur utama, yaitu inhalasi asap rokok dan konsumsi makanan yang terkontaminasi, terutama ikan. Setiap dua puluh batang rokok diperkirakan melepaskan sekitar 30 mikrogram Cd, dengan 2–



4 mikrogram yang terhirup langsung ke paru-paru. Paparan Cd jangka panjang berhubungan erat dengan meningkatnya risiko penyakit kardiovaskular seperti hipertensi, aterosklerosis, dan penyakit jantung koroner. Sebaliknya, paparan Hg dapat terjadi melalui inhalasi uap merkuri dari lingkungan industri maupun konsumsi ikan laut yang terkontaminasi metilmerkuri (MeHg). Paparan tersebut dapat menyebabkan gangguan irama jantung, peningkatan tekanan darah, infark miokard, serta gangguan neurologis berat seperti yang terjadi pada kasus penyakit Minamata di Jepang. Baik Cd maupun Hg menunjukkan mekanisme toksisitas yang serupa, yaitu melalui induksi stres oksidatif, peningkatan produksi radikal bebas (ROS), serta peroksidasi lipid (LPO) yang menyebabkan kerusakan membran sel dan inaktivasi enzim antioksidan seperti SOD, CAT, dan GPx. Selain itu, keduanya mengganggu fungsi kanal ion ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ , dan  $\text{K}^+$ ) yang berperan penting dalam aktivitas listrik jantung dan transmisi sinaptik di sistem saraf. Akumulasi logam ini dalam tubuh manusia maupun ikan akhirnya mengakibatkan kerusakan jaringan kardiovaskular dan neurologis. Dengan demikian, Gambar 1 secara komprehensif menjelaskan hubungan antara aktivitas manusia, pencemaran logam berat di lingkungan perairan, bioakumulasi pada ikan, dan dampaknya terhadap kesehatan manusia melalui rantai makanan (Naija & Yalcin, 2023).



**Gambar 2.2 Skema Paparan Logam Hg dan Cd**



## 2.9 Pola Konsumsi Ikan oleh Masyarakat Kota Sawahlunto

Berdasarkan laporan Badan Pusat Statistik (BPS) pada Maret 2023, terlihat bahwa pola konsumsi ikan di Sumatera Barat mencerminkan beragam tren yang menggambarkan preferensi masyarakat terhadap jenis ikan tertentu. Sebagai salah satu sumber protein utama dalam makanan sehari-hari, ikan tetap menjadi komoditas penting meskipun terdapat variasi dalam jenis yang dikonsumsi di berbagai wilayah.

### 1. Tren Konsumsi Ikan di Sumatera Barat Secara Umum

Data BPS tahun 2023 menunjukkan bahwa ikan tongkol, tuna, dencis, dan cakalang merupakan jenis ikan yang paling banyak dikonsumsi oleh masyarakat Sumatera Barat, dengan rata-rata konsumsi sebesar 0,099 kg per kapita per minggu. Meskipun terjadi penurunan konsumsi sebesar 3,84% dibandingkan tahun sebelumnya, ikan-ikan tersebut tetap mendominasi pola konsumsi. Di sisi lain, jenis ikan seperti kembung, lema/tatare, dan banyar/banyara justru mengalami peningkatan konsumsi sebesar 11,80%, menunjukkan pergeseran minat masyarakat terhadap varietas ikan tertentu.

### 2. Perbedaan Konsumsi Ikan antara Perkotaan dan Perdesaan

Terdapat perbedaan signifikan dalam pola konsumsi ikan antara masyarakat perkotaan dan perdesaan. Di wilayah perkotaan, konsumsi ikan tongkol, tuna, cakalang, dan dencis lebih tinggi, mencapai 0,107 kg per kapita per minggu. Sementara itu, di daerah perdesaan, angka konsumsinya sedikit lebih rendah, yaitu 0,091 kg per kapita per minggu. Perbedaan ini kemungkinan dipengaruhi oleh faktor aksesibilitas, harga, serta preferensi lokal terhadap jenis ikan tertentu.

### 3. Dinamika Perubahan Konsumsi Ikan pada Tahun 2023.

Sepanjang tahun 2023, konsumsi ikan di Sumatera Barat mengalami fluktuasi. Beberapa jenis ikan, seperti mas dan nila dan ikan masai serta beberapa jenis ikan air tawar lainnya, mengalami penurunan konsumsi masing-masing sebesar 10,38% dan 14,06%. Sebaliknya, ikan teri basah justru meningkat 6,41%. Perubahan ini mengindikasikan adanya pergeseran preferensi masyarakat, yang dapat dipengaruhi oleh faktor ketersediaan ikan, harga di pasaran, serta perubahan kebiasaan makan.

Dengan demikian, data tersebut tidak hanya menggambarkan pola konsumsi ikan saat ini, tetapi juga memberikan wawasan tentang dinamika preferensi masyarakat Sumatera Barat terhadap berbagai jenis ikan dari waktu ke waktu.

## **2.10 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) 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.

## 3. Analisis Paparan (*Exposure Assessment*)

Analisis pemajanan dilakukan dengan mengukur atau menghitung *intake*/asupan dari agen risiko. Untuk menghitung *intake* terdapat rumus atau persamaan berikut (Dirjen P2PL, 2012):

$$Ink \frac{C \cdot R \cdot f_E \cdot Dt}{W_b \cdot T_{avg}} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan:

|   |  |
|---|--|
| Ink ( <i>Intake</i> )                           | :Jumlah konsentrasi agen risiko yang masuk ke dalam tubuh manusia (mg/kg.hari) |
| C ( <i>Concentration</i> )                      | :Konsentrasi agen risiko pada ikan (mg/kg)                                     |
| R ( <i>Rate</i> )                               | :Laju konsumsi jumlah berat makanan yang masuk setiap jamnya (L/h)             |
| f <sub>E</sub> ( <i>Frecuency of exposure</i> ) | :Lamanya atau jumlah hari terjadinya paparan setiap tahunnya (Hari/Tahun)      |
| Dt ( <i>Duration Time</i> )                     | :Lamanya atau jumlah terjadinya paparan (Tahun)                                |
| T <sub>avg</sub> (nk)                           | :Periode waktu rata-rata untuk efek non karsinogen (hari)                      |
| W <sub>b</sub> ( <i>Weight of Body</i> )        | :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.

Dosis toleransi tubuh manusia pada pemakaian secara terus-menerus untuk formalin sebesar 0,2 miligram per kilogram berat badan. Misalnya berat badan seseorang 50 kilogram, maka tubuh orang tersebut masih bisa mentoleransi sebesar 50 dikali 0,2 yaitu 10 miligram formalin secara terus-menerus.

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)

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

b) Konsentrasi aman non karsinogenik (ingesti)

$$RnK \text{ (aman)} = \frac{RfD \times w_b \times t_{avg}}{C \times X \times f_E \times D_t} \dots\dots\dots(2.4)$$

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



## 2.11 Penelitian Terkait

**Tabel 2.1 Tabel Penelitian Terkait**

| No | Peneliti                 | Judul Penelitian   | Lokasi Penelitian                              | Hasil  |
|----|--------------------------|--|--|--|
| 1. | Tanjung et al.<br>(2025) | Ecological and Human Health Risks Assessment Related to Heavy Metals in Surface Sediments and Some Fish Species in Lake Sentani, Indonesia | Danau Sentani,<br>Provinsi Papua,<br>Indonesia | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Konsentrasi logam berat dalam sedimen dan ikan di Danau Sentani menunjukkan urutan <math>Zn &gt; Ni &gt; Cu &gt; Pb &gt; Cd &gt; Hg</math>, dengan konsentrasi logam tertinggi pada sedimen dan ikan.</li> <li>2. Indeks Risiko Ekologis (ERI) di Danau Sentani berkisar antara 100,21 hingga 333,25, menunjukkan risiko ekologis yang moderat.</li> <li>3. Target <i>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.</li> <li>4. Indeks Bahaya (HI) berkisar antara 0,16 hingga 4,36, menunjukkan potensi risiko non-karsinogenik pada beberapa spesies ikan.</li> <li>5. Risiko Karsinogenik (CR) menunjukkan bahwa CR untuk Ni berada dalam kategori risiko kanker signifikan, sementara CR untuk Pb menunjukkan risiko kanker sangat rendah.</li> <li>6. Kesimpulannya, akumulasi logam berat di Danau Sentani dapat menimbulkan dampak negatif terhadap ekosistem dan kesehatan manusia, yang memerlukan tindakan pencegahan dan pengendalian pencemaran.</li> </ol> |



| No | Peneliti         | Judul Penelitian   | Lokasi Penelitian                                   | Hasil  |
|----|------------------|--|---|--|
| 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   | <ol style="list-style-type: none"> <li>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.</li> <li>2. Konsentrasi logam berat dalam organ ikan Masai (<i>Mystacoleucus marginatus</i>) memenuhi baku mutu FAO/WHO 2004.</li> <li>3. Akumulasi logam berat tertinggi ditemukan di wilayah pemukiman.</li> <li>4. Nilai <i>Bioconcentration Factor</i> (BCF) untuk logam As, Pb, Hg, dan Cd lebih rendah dari nilai BCF yang ditetapkan.</li> <li>5. Penilaian risiko menunjukkan bahwa ikan Masai di Sungai Batang Ombilin tidak aman untuk dikonsumsi dengan nilai <math>RQ &gt; 1</math>, yang mengindikasikan tidak ada risiko kesehatan non-karsinogenik.</li> <li>6. Berdasarkan perhitungan Carcinogenic Risk (CR), ikan Masai aman dikonsumsi karena nilai risiko kanker sangat rendah.</li> </ol> |
| 3. | Bimantoro (2022) | Analisis Risiko Logam Berat Pb, Hg, dan As pada Daging Ikan Nila ( <i>Oreochromis niloticus</i> ) Terhadap                                     | Danau Maninjau, Provinsi Sumatera Barat, Indonesia. | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Konsentrasi logam berat Pb, Hg, dan As pada daging ikan nila (<i>Oreochromis niloticus</i>) di Danau Maninjau menunjukkan variasi yang berbeda-beda.</li> </ol>  |

| No | Peneliti           | Judul Penelitian   | Lokasi Penelitian   | Hasil  |
|----|--------------------|--|---------------------|--|
|    |                    | Kesehatan Masyarakat di Danau Maninjau, Provinsi Sumatera Barat.   |                     | <ol style="list-style-type: none"> <li>2. Konsentrasi logam berat Pb melebihi batas aman yang ditetapkan oleh standar kesehatan internasional, sementara Hg dan As tidak terdeteksi dalam jumlah yang signifikan.</li> <li>3. Berdasarkan perhitungan <i>Target Hazard Quotient</i> (THQ) dan <i>Carcinogenic Risk</i> (CR), risiko kesehatan non-karsinogenik dan karsinogenik akibat konsumsi ikan nila di daerah ini menunjukkan nilai THQ yang rendah namun CR untuk Pb menunjukkan potensi risiko kanker yang tidak signifikan.</li> <li>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.</li> </ol> |
| 4. | Amaranggana (2024) | Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Akibat Paparan Formalin Pada Ikan Laut Di Kecamatan Bungus Teluk Kabung | Bungus Teluk Kabung | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Berdasarkan pengujian, 1 dari 15 sampel ikan tuna mentah dari Teluk Kabung Utara positif mengandung formalin (7%). Setelah digoreng, semua sampel ikan (termasuk ikan tuna tersebut) menunjukkan hasil negatif formalin.</li> <li>2. Hasil perhitungan RQ atau tingkat risiko realtime formalin pada ikan tuna bernilai <math>RQ &lt; 1</math> yaitu berkisar dari 0,01-0,47, maka tingkat risiko dinyatakan aman.</li> <li>3. Nilai RQ lifetime didapatkan nilai <math>RQ &gt; 1</math> pada semua responden yaitu</li> </ol>   |

| No | Peneliti | Judul Penelitian | Lokasi Penelitian | Hasil  |
|----|----------|------------------|-------------------|--|
|    |          |                  |                   | berkisar dari 0,37-1,46, maka tingkat risiko atau nilai RQ menunjukkan angka tidak aman. |



## BAB III

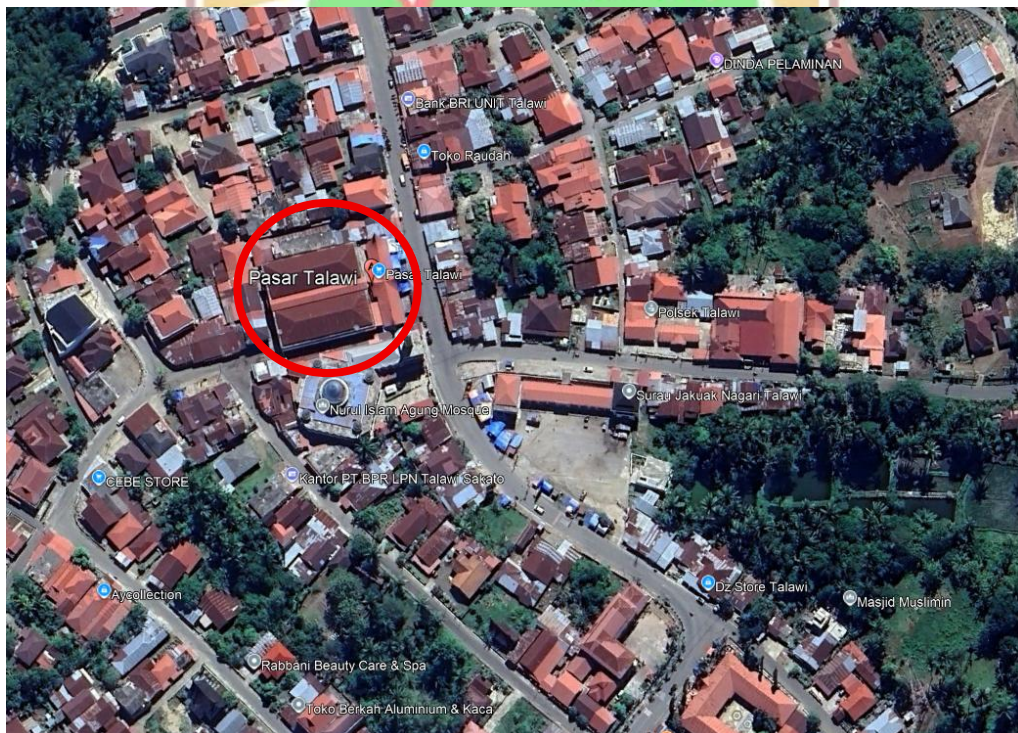
### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan meliputi studi pendahuluan, survei lapangan, pengumpulan data sekunder, penyebaran kuesioner, menganalisis data kuesioner, dan perhitungan batas asupan maksimal. Diagram metodologi dapat dilihat pada **Gambar 3.1**.

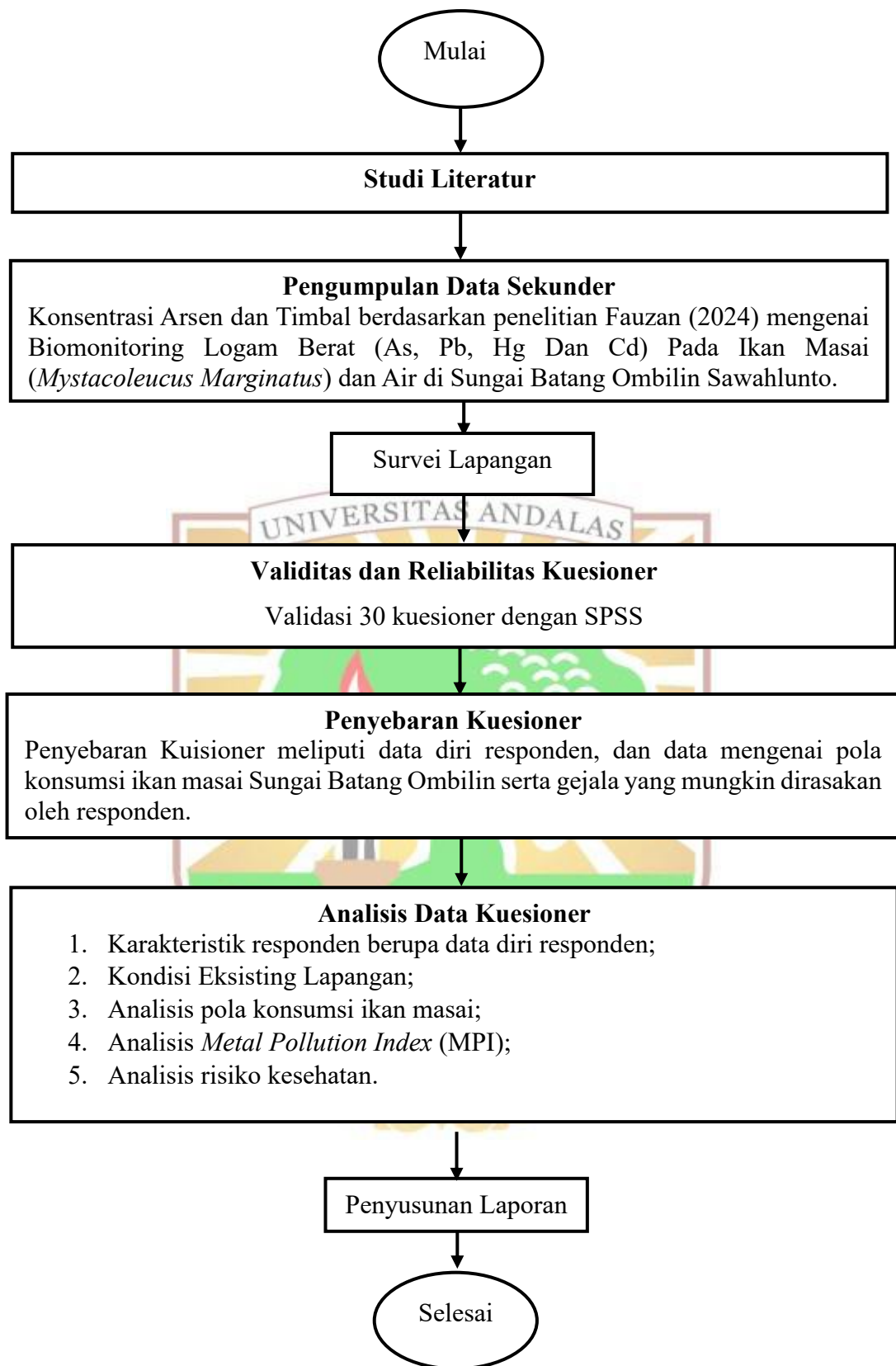
#### 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

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 dengan koordinat  $0.6389^{\circ}$  LS,  $100.7847^{\circ}$  BT.



**Gambar 3.1 Lokasi Penyebaran Kuesioner**





**Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian**



### 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.

### 3.4 Pengumpulan Data Sekunder

Dalam penelitian ini, data sekunder digunakan untuk mendalami konsentrasi logam berat Hg dan Cd 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/kg) |                        |          |          |          |          |
|------------------------------|------------------------|----------|----------|----------|----------|
| 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                   |
|                      | Hg Daging    |            | 0,007                     | 0,002                   |
|                      | Cd Kepala    | 0,1        | 0,033                     | 0,038                   |
|                      | Cd Isi Perut |            | 0,039                     | 0,027                   |
|                      | Cd Daging    |            | 0,003                     | 0,001                   |
| Pemukiman            | As Kepala    | 0,25       | 0,075                     | 0,039                   |
|                      | As Isi Perut |            | 0,176                     | 0,107                   |
|                      | As Daging    |            | 0,016                     | 0,007                   |
|                      | Pb Kepala    | 0,20       | 0,081                     | 0,037                   |
|                      | Pb Isi Perut |            | 0,244                     | 0,124                   |
|                      | Pb Daging    |            | 0,022                     | 0,004                   |
|                      | Hg Kepala    | 0,5        | 0,115                     | 0,039                   |
|                      | Hg Isi Perut |            | 0,493                     | 0,372                   |
|                      | Hg Daging    |            | 0,029                     | 0,005                   |
|                      | Cd Kepala    | 0,1        | 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    | 0,20       | 0,021                     | 0,010                   |
|                      | Pb Isi Perut |            | 0,047                     | 0,018                   |
|                      | Pb Daging    |            | 0,003                     | 0,001                   |
|                      | Hg Kepala    | 0,5        | 0,058                     | 0,031                   |
|                      | Hg Isi Perut |            | 0,116                     | 0,063                   |
|                      | Hg Daging    |            | 0,017                     | 0,002                   |
|                      | Cd Kepala    | 0,1        | 0,017                     | 0,002                   |
|                      | Cd Isi Perut |            | 0,073                     | 0,017                   |
|                      | Cd Daging    |            | 0,006                     | 0,005                   |
| PLTU                 | As Kepala    | 0,25       | 0,056                     | 0,029                   |
|                      | As Isi Perut |            | 0,172                     | 0,027                   |
|                      | As Daging    |            | 0,013                     | 0,005                   |
|                      | Pb Kepala    | 0,20       | 0,037                     | 0,010                   |

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

| Lokasi       | Titik Koordinat              | Gambaran Lokasi   |
|--------------|------------------------------|---|
| Pasar Talawi | -0.6389° LS,<br>100.7847° BT | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Berlokasi di Kecamatan Talawi, sekitar 10 km dari pusat kota Sawahlunto</li> <li>- Berdasarkan hasil diskusi dengan Dinas Lingkungan Hidup Sawahlunto, mengarahkan dipilihnya Pasar Talawi menjadi satu-satunya penjualan ikan masai yang masi ada.</li> </ul> |

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 Kuisisioner

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 Excel dan SPSS.

Responden terdiri dari masyarakat sekitar Sungai Batang Ombilin dengan kriteria yaitu mengonsumsi daging ikan masai dari Sungai Batang Ombilin. Jumlah responden yang diambil dihitung menggunakan rumus Slovin:



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

Data BPS tahun 2024 menyatakan 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).

**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            |
| <b>Total</b>         |                 | <b>23765</b>    |

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

Pada subbab ini, analisis dilakukan untuk memahami pola konsumsi ikan Masai oleh masyarakat Kota Sawahlunto, dengan menggunakan Metode Frekuensi Makanan (*Food Frequency Method*). Metode ini digunakan untuk mendapatkan gambaran mengenai seberapa sering ikan Masai dikonsumsi oleh responden dalam periode waktu tertentu, misalnya dalam sehari, seminggu, atau sebulan. Dengan menggunakan 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 Method**

| 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)

### 3.8.3 Analisis Metal Pollution Index (MPI)

Rumus Indeks Pencemaran Logam *Metal Pollution Index* (MPI) digunakan untuk menilai tingkat pencemaran sedimen oleh logam berat dengan menggabungkan konsentrasi beberapa logam berat dalam satu nilai komposit. Rumus umum yang digunakan adalah (J. Usero dkk., 1997):

$$MPI (CM1 \times CM2 \times \dots \times CMn)^{1/n} \dots \dots \dots (3.2)$$

Keterangan:

MPI = Indeks Pencemaran Logam.

CM = Konsentrasi logam yang terdapat pada ikan

n = Jumlah logam berat yang dianalisis.

MPI memberikan gambaran umum tentang tingkat pencemaran sedimen oleh logam berat dengan mempertimbangkan kontribusi relatif dari masing-masing logam. Nilai MPI yang lebih tinggi menunjukkan tingkat pencemaran yang lebih besar.

#### **Interpretasi Nilai MPI:**

MPI < 1: Sedimen dianggap tidak tercemar atau sangat sedikit tercemar oleh logam berat.

MPI = 1: Sedimen menunjukkan tingkat pencemaran sedang, menunjukkan adanya konsentrasi logam berat yang mulai menunjukkan dampak.

MPI > 1: Sedimen menunjukkan tingkat pencemaran yang tinggi oleh logam berat, dengan dampak potensial yang lebih besar terhadap ekosistem.

#### **3.8.4 Analisis Data 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 kementkes tahun 2012. Terdapat 4 langkah ARKL meliputi (Dirjen PP dan PL Kemenkes, 2012):

a. Identifikasi bahaya (*hazard identification*)

Identifikasi bahaya merupakan langkah pertama dalam ARKL yang sehatan bila tubuhterpajan. Sebagai pelengkap dalam identifikasi bahaya dapat ditambahkan gejala – gejalagangguan kesehatan apa yang terkait erat dengan agen risiko yang akan dianalisis. Tahapanini 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, serta memahami efek apa saja yang mungkin ditimbulkan oleh agen risiko

tersebut pada tubuh manusia. Nilai RfD ialah nilai yang dijadikan referensi untuk nilai aman pada efek non karsinogenik.

c. Analisis pajanan (*exposure assessment*)

Setelah melakukan langkah 1 dan 2, selanjutnya dilakukan Analisis pemajanan yaitu dengan mengukur atau menghitung *intake* / asupan dari agen risiko. Nilai intake diperoleh dari tabel parameter pajanan yang terdiri dari konsentrasi logam, laju konsumsi, frekuensi pajanan, durasi pajanan, berat badan, dan waktu rata-rata. Seluruh nilai tersebut direkap terlebih dahulu dalam satu tabel input sebelum dilakukan perhitungan intake. Untuk menghitung *intake* terdapat rumus atau persamaan (2.2).

**Tabel 3.6 Parameter Perhitungan Intake Pajanan Hg dan Cd (Nilai Default)**

| Parameter                          | Simbol | Satuan     | Nilai                             |
|------------------------------------|--------|------------|-----------------------------------|
| Konsentrasi Hg (daging + kepala)   | C      | mg/kg      | sesuai lokasi 0,033–0,115)        |
| Konsentrasi Cd (daging + kepala)   | C      | mg/kg      | sesuai lokasi (misal 0,033–0,103) |
| Laju konsumsi ikan                 | R      | g/hari     | <b>54</b>                         |
| Frekuensi pajanan                  | fE     | hari/tahun | <b>350</b>                        |
| Durasi pajanan                     | Dt     | tahun      | <b>30</b>                         |
| Berat badan                        | Wb     | kg         | <b>55</b>                         |
| Waktu rata-rata (non-karsinogenik) | tavg   | hari       | <b>10.950</b>                     |
| Reference Dose Hg                  | RfD    | mg/kg·hari | <b>0,0003</b>                     |
| Reference Dose Cd                  | RfD    | mg/kg·hari | <b>0,001</b>                      |

Sumber: Analisis Peneliti (2025)

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

**Tabel 3.7 Interpretasi Risk Quotient (RQ)**

| Nilai RQ | Interpretasi          | Keterangan  |
|----------|-----------------------|---|
| $RQ < 1$ | Aman / Tidak Berisiko | Paparan zat masih berada di bawah ambang batas yang dianggap membahayakan. Risiko terhadap kesehatan manusia atau lingkungan rendah atau tidak signifikan.    |
| $RQ = 1$ | Batas Aman            | Nilai paparan sama dengan ambang batas aman. Masih bisa diterima, tetapi perlu pemantauan untuk mencegah peningkatan paparan.                                 |
| $RQ > 1$ | Tidak Aman / Berisiko | Paparan zat melebihi ambang batas aman. Dapat menimbulkan risiko terhadap kesehatan atau lingkungan, sehingga diperlukan tindakan pengendalian atau mitigasi. |

Perhitungan konsentasi aman dan laju asupan aman dapat dihitung penggunaan **persamaan (2.3-2.4)**

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).

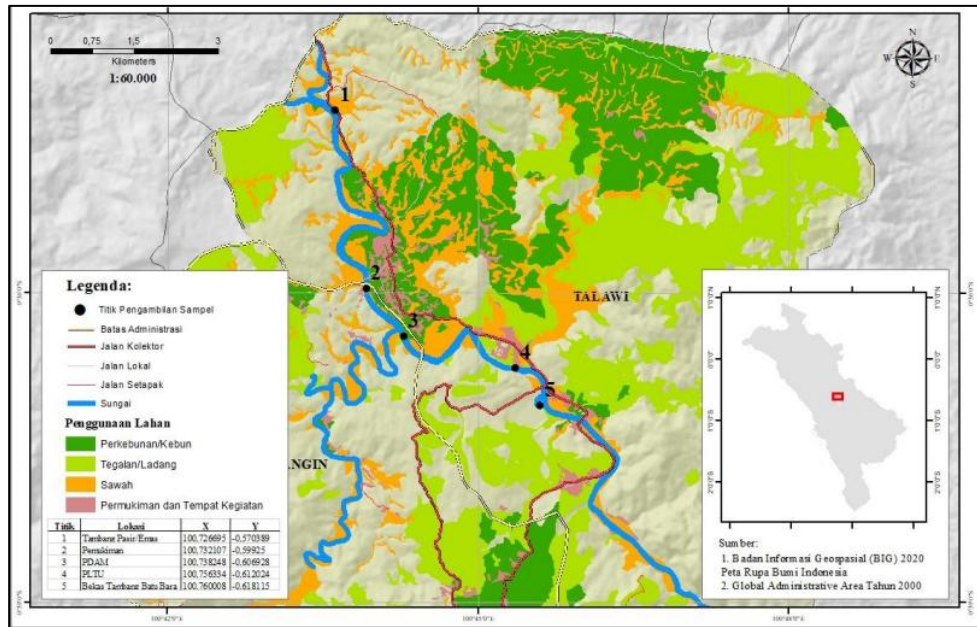


## BAB IV

### 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 pajanan logam berat, khususnya Hg dan Cd, 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. Ikan masai yang ditemukan di perairan tersebut merupakan salah satu bahan pangan lokal yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat serta berpotensi digunakan sebagai bioindikator pencemaran logam berat di ekosistem perairan. Penelitian ini dilakukan di Sungai Batang Ombilin, Kota Sawahlunto. Penentuan lokasi pengambilan sampel didasarkan pada berbagai aktivitas manusia di sekitar sungai, meliputi kegiatan penambangan pasir, keberadaan danau bekas tambang, aktivitas PLTU, kawasan permukiman penduduk, serta instalasi PDAM, dengan mengacu pada hasil penelitian sebelumnya. 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 paparan logam berat. Sedangkan data sekunder diperoleh dari hasil penelitian sebelumnya Fauzan (2024) yang menyediakan informasi mengenai konsentrasi logam Hg dan Cd dalam air sungai serta jaringan tubuh ikan Masai.

Hasil dari pengumpulan data ini kemudian dianalisis menggunakan metode analisis risiko kesehatan lingkungan (*Environmental Health Risk Assessment/EHRA*) yang meliputi perhitungan risiko non-karsinogenik, serta risiko nonkarsinogenik dengan perhitungan. 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

Analisis kuesioner dalam penelitian ini mencakup pengumpulan data pribadi responden dan informasi mengenai pola konsumsi ikan masai (*Mystacoleucus marginatus*) oleh masyarakat di Kota Sawahlunto. Kuesioner ini dirancang untuk



mendapatkan informasi mengenai usia, jenis kelamin, pekerjaan, status perkawinan, berat badan, frekuensi konsumsi, dan jumlah konsumsi harian ikan masai. Data yang terkumpul kemudian dianalisis secara deskriptif menggunakan *Microsoft Excel* dan (*Statistical Package for the Social Sciences*) SPSS untuk memberikan gambaran mengenai karakteristik responden serta pola konsumsi ikan masai.

#### 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 adalah sebagai 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 |

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.

**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 |

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.

**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 |

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.

**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 |

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.

**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 |

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.



**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 |

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.

#### **4.3 Kondisi Eksisting 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 et al., 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 (Lanctôt et al., 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 masai ini, bahkan sebagian hanya memakannya sekali dalam setahun akibat hampir mengalami 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 5,37 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, bisa dilihat pada Tabel 4.6

**Tabel 4.7 Analisis *Metal Pollution Index* (MPI)**

| Lokasi                 | Konsentrasi |      |      |      | 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: (Fauzan, 2024)

Berdasarkan **Tabel 4.7**, nilai *Metal Pollution Index* (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/kg), yang berkontribusi besar terhadap tingginya nilai MPI. Sedangkan pada lokasi PDAM, meskipun nilai MPI rendah, terdapat kandungan Hg sebesar 0.19 mg/kg, 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)**

ARKL dilakukan untuk menghitung risiko paparan Hg dan Cd terhadap konsumsi ikan masai di sawahlunto. Tahap ARKL terdiri dari identifikasi bahaya, analisis dosis respon, analisis pajanan, dan karakterisasi risiko. Perhitungan analisis risiko berpodoman pada data berat badan, durasi pajanan serta frekuensi pajanan yang didapatkan dari hasil penyebaran kuesioner yang berjumlah 100 responden.

##### **4.6.1 Identifikasi Bahaya (*Hazard-Identification*)**

Identifikasi bahaya merupakan langkah pertama dalam 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 Hg dan Cd. Dalam penelitian ini, agen bahaya yang diidentifikasi adalah logam berat Hg dan Cd. 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.

Hg yang umum ditemukan pada ikan masai (*Mystacoleucus marginatus*) berasal dari bentuk organik yaitu metilmerkuri, yang memiliki sifat toksik tinggi dan cenderung terakumulasi pada jaringan ikan, serta kemungkinan dalam bentuk merkuri anorganik. Cd yang ditemukan umumnya berada dalam bentuk ion  $Cd^{2+}$  yang juga dapat terakumulasi dalam jaringan ikan. Kedua logam berat ini masuk ke rantai makanan melalui pencemaran di media perairan Sungai Batang Ombilin, yang bersumber dari aktivitas industri seperti PLTU, pertambangan emas dan batubara, limbah domestik, serta limpasan pertanian. Media lingkungan utama yang terkontaminasi adalah biota air, khususnya daging ikan masai yang dikonsumsi oleh masyarakat Kota Sawahlunto.

Berdasarkan data sekunder dari penelitian Fauzan (2024), kadar Hg pada daging ikan masai berkisar antara 0,002 – 0,493 mg/kg, masih berada di bawah baku mutu FAO/WHO (0,5 mg/kg). Sementara itu, kadar Cd pada daging ikan masai berkisar antara 0,01 – 0,424 mg/kg, di mana beberapa sampel pada isi perut ikan melebihi



baku mutu FAO/WHO (0,1 mg/kg). Paparan Hg dapat menimbulkan gangguan pada sistem saraf pusat seperti tremor, gangguan koordinasi, penurunan fungsi kognitif, gangguan perkembangan janin, serta kerusakan ginjal. Sedangkan paparan Cd dapat menyebabkan kerusakan ginjal kronis, gangguan tulang seperti osteoporosis dan osteomalasia, gangguan paru-paru. Paparan terhadap dua 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 masai dari perairan yang tercemar ini, terutama anak-anak, ibu hamil, dan lansia yang memiliki tingkat kerentanannya lebih tinggi, berisiko mengalami dampak kesehatan yang serius.

**Tabel 4.8 Identifikasi Bahaya Hg dan Cd pada Ikan Masai**

| Sumber                 | Media Lingkungan Potensial | Agen Risiko | Konsentrasi Teratur |                   |              |
|------------------------|----------------------------|-------------|---------------------|-------------------|--------------|
|                        |                            |             | Min (mg/kg)         | Rata-rata (mg/kg) | Maks (mg/kg) |
| Tambang Pasir & Emas   |                            | Hg          | 0,007               | 0,038             | 0,075        |
|                        |                            | Cd          | 0,003               | 0,025             | 0,039        |
| Pemukiman              |                            | Hg          | 0,029               | 0,212             | 0,493        |
|                        |                            | Cd          | 0,023               | 0,181             | 0,424        |
| PDAM                   | Ikan Masai                 | Hg          | 0,017               | 0,064             | 0,116        |
|                        |                            | Cd          | 0,006               | 0,032             | 0,073        |
| PLTU                   |                            | Hg          | 0,027               | 0,131             | 0,266        |
|                        |                            | Cd          | 0,021               | 0,149             | 0,323        |
| Bekas Tambang Batubara |                            | Hg          | 0,002               | 0,012             | 0,019        |
|                        |                            | Cd          | 0,014               | 0,059             | 0,092        |

Sumber: Fauzan (2024)

Berdasarkan tabel diatas dari berbagai sumber pencemaran di Sungai Batang Ombilin, terlihat bahwa kadar Hg dan Cd bervariasi tergantung lokasi. Pada wilayah tambang pasir dan emas, konsentrasi Hg berkisar antara 0,007–0,075 mg/kg dengan rata-rata 0,038 mg/kg, sedangkan Cd berkisar 0,003–0,039 mg/kg dengan rata-rata 0,025 mg/kg. Di daerah pemukiman, konsentrasi Hg lebih tinggi yaitu 0,029–0,493 mg/kg rata-rata 0,212 mg/kg dan Cd mencapai 0,023–0,424 mg/kg rata-rata 0,181 mg/kg, menunjukkan potensi paparan yang signifikan. Pada lokasi yang terhubung dengan sumber air PDAM, Hg terdeteksi 0,017–0,116 mg/kg rata-rata 0,064 mg/kg dan Cd 0,006–0,073 mg/kg rata-rata 0,032 mg/kg. Di sekitar PLTU, kandungan Hg berada pada rentang 0,027–0,266 mg/kg rata-rata 0,131

mg/kg dan Cd 0,021–0,323 mg/kg rata-rata 0,149 mg/kg. Sementara di bekas tambang batubara, konsentrasi Hg relatif rendah yaitu 0,002–0,019 mg/kg rata-rata 0,012 mg/kg dan Cd 0,014–0,092 mg/kg rata-rata 0,059 mg/kg.

Data ini menunjukkan bahwa daerah pemukiman dan PLTU memiliki rata-rata kadar Hg dan Cd yang lebih tinggi dibandingkan lokasi lainnya, yang kemungkinan disebabkan oleh aktivitas domestik dan industri yang membuang limbah ke sungai. Tingginya kadar logam berat di beberapa lokasi, terutama Cd pada pemukiman yang melebihi baku mutu FAO/WHO untuk konsumsi ikan, menandakan adanya risiko kesehatan bagi masyarakat yang secara rutin mengonsumsi ikan masai dari sungai batang Ombilin Sawahlunto tersebut. Konsentrasi logam berat yang terdeteksi pada ikan masai dari data diatas menunjukkan adanya potensi paparan bagi konsumen ikan masai di sekitar wilayah tersebut. Meskipun konsentrasi logam berat pada ikan di sebagian besar lokasi masih dalam batas aman, namun beberapa organ ikan masai, seperti isi perut, menunjukkan kadar logam yang lebih tinggi. Data ini mengindikasikan adanya risiko kesehatan, terutama pada masyarakat yang mengonsumsi ikan masai 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*)**

Analisis dosis-respons merupakan langkah dalam ARKL yang bertujuan untuk mengidentifikasi hubungan antara dosis paparan suatu zat dengan respons biologis yang ditimbulkannya pada tubuh manusia. Dalam konteks penelitian ini, analisis ini dilakukan untuk menentukan dan, yang akan digunakan sebagai acuan untuk menilai efek non-karsinogenik dari paparan logam berat Hg dan Cd ini. Nilai RfD adalah dosis harian paparan suatu zat yang diperkirakan tidak menimbulkan risiko efek non-karsinogenik yang merugikan pada populasi manusia, termasuk kelompok sensitif, selama seumur hidup. Nilai RfD untuk Hg (non-karsinogenik) adalah 0,0003 mg/kg/hari dengan pedoman dari IRIS USEPA. Paparan Hg dapat menyebabkan gangguan pada sistem saraf pusat, termasuk tremor, gangguan koordinasi, dan penurunan fungsi kognitif. Paparan kronis dapat menyebabkan kerusakan ginjal dan gangguan perkembangan janin. Nilai RfD untuk Cd (non-karsinogenik) adalah 0,001 mg/kg/hari. Cd dapat menyebabkan kerusakan ginjal

kronis, gangguan tulang seperti osteoporosis, dan osteomalasia, serta gangguan paru-paru.

Dengan menggunakan nilai-nilai referensi ini, analisis dosis-respons pada penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi apakah konsentrasi Hg dan Cd dalam ikan masai yang dikonsumsi masyarakat Sawahlunto berada dalam batas aman. Nilai ini menjadi dasar untuk menghitung asupan harian (*Intake*) dan membandingkannya dengan dosis referensi untuk mengukur Tingkat Risiko (*Risk Quotient* (RQ) di tahap selanjutnya, yaitu karakterisasi risiko. Perhitungan ini sangat penting untuk menentukan apakah konsumsi ikan masai secara rutin dapat menimbulkan risiko kesehatan non-karsinogenik bagi masyarakat setempat.

#### **4.6.3 Analisis Paparan ((*Exposure Assessment*))**

Analisis paparan adalah tahap yang dilakukan setelah mengidentifikasi bahaya dan menganalisis dosis-respons. Tujuannya adalah untuk mengukur atau menghitung asupan (*intake*) dari agen risiko, dalam hal ini Hg dan Cd. Analisis ini didasarkan pada data yang diperoleh dari 100 responden melalui kuesioner, yang mencakup informasi mengenai berat badan, durasi paparan, dan frekuensi paparan.

##### **4.6.3.1 Analisis Paparan Ikan Masai Bagian Daging dan Kepala Nilai *Default***

Sebanyak 72 responden mengonsumsi hanya bagian daging ikan masai. Analisis paparan untuk kelompok ini didasarkan pada konsentrasi Hg dan Cd yang terdapat pada daging ikan saja. Konsentrasi Hg pada daging ikan masai berkisar antara 0,002 – 0,493 mg/kg, sementara kadar Cd berkisar antara 0,01 – 0,424 mg/kg. Perhitungan nilai *Intake* (Ink) pada ikan masai lima lokasi berbeda sepanjang Sungai Batang Ombilin digunakan sebagai titik pengambilan sampel. Perhitungan ini bertujuan untuk menentukan jumlah konsentrasi logam berat Hg dan Cd yang masuk ke dalam tubuh manusia melalui konsumsi ikan dari lokasi-lokasi tersebut. Berikut adalah penjelasan mengenai perhitungan intake untuk setiap lokasi:

#### **A. Tambang Pasir dan Emas**

Pada lokasi tambang pasir dan emas, konsentrasi Hg dan Cd di daerah Tambang Pasir & Emas ditemukan melebihi baku mutu yang ditetapkan oleh PP RI No. 22 Tahun 2021. Konsentrasi Hg terukur sebesar 0,0634 mg/kg, yang secara signifikan lebih tinggi dari baku mutu 0,002 mg/kg. Begitu pula, konsentrasi Cd di lokasi ini

adalah 0,0434 mg/kg, melampaui baku mutu 0,01 mg/kg. Kondisi ini menunjukkan adanya potensi pencemaran yang serius di perairan tersebut, kemungkinan besar disebabkan oleh aktivitas penambangan yang melepaskan limbah ke sungai. Pencemaran logam berat seperti Hg dan Cd dapat mengancam ekosistem sungai dan kesehatan masyarakat yang bergantung pada sumber daya air tersebut. Tingginya konsentrasi logam berat ini dapat berakumulasi dalam biota air, termasuk ikan, yang pada akhirnya dapat membahayakan manusia yang mengonsumsinya. Berikut ini merupakan perhitungan nilai *intake* dari Hg dan Cd di lokasi tambang pasir dan emas:

- Perhitungan *Intake* Hg di Kawasan Tambang Pasir dan Emas

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

$$\text{ink Hg} = \frac{0,040 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gram}} \cdot \frac{54 \text{ gram}}{\text{hari}} \cdot 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \cdot 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \cdot 10950 \text{ hari}}$$

$$\text{ink Hg} = 0,03788 \times 10^{-3} \text{ mg/kg.hari}$$

- Perhitungan *Intake* Cd di Kawasan Tambang Pasir dan Emas

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

$$\text{ink Cd} = \frac{0,037 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gram}} \cdot \frac{54 \text{ gram}}{\text{hari}} \cdot 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \cdot 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \cdot 10950 \text{ hari}}$$

$$\text{ink Cd} = 0,00280 \times 10^{-3} \text{ mg/kg.hari}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, dilakukan perhitungan untuk mengestimasi besaran asupan harian *intake* dari logam berat Hg dan Cd di sebuah Kawasan Tambang Pasir dan Emas. Perhitungan ini menggunakan formula standar analisis risiko kesehatan untuk menentukan dosis paparan kronis yang diterima oleh seorang individu. Untuk Hg, perhitungan dimulai dengan nilai konsentrasi sebesar 0,040 mg/kg. Dengan asumsi laju konsumsi 54 gram/hari, frekuensi paparan 350 hari/tahun, durasi 30 tahun, serta berat badan individu 55 kg, maka diperoleh hasil *intake* harian Hg sebesar  $0,03788 \times 10^{-3} \text{ mg/kg.hari}$ . Sementara itu, untuk Cd, perhitungan dilakukan dengan konsentrasi awal yang sedikit lebih rendah, yaitu



0,037 mg/kg. Menggunakan parameter paparan yang sama, didapatkan nilai *intake* harian untuk Cd sebesar  $0,00280 \times 10^{-3}$  mg/kg.hari. Kedua hasil ini nantinya dapat dibandingkan dengan nilai referensi dosis ( $R_{fD}$ ) dari badan kesehatan untuk menentukan apakah tingkat paparan tersebut berpotensi menimbulkan risiko kesehatan bagi populasi di kawasan tambang tersebut.

## B. Pemukiman

Pada lokasi pemukiman, konsentrasi Hg dan Cd di wilayah Pemukiman menunjukkan nilai yang sangat mengkhawatirkan karena melebihi baku mutu yang ditetapkan oleh PP RI No. 22 Tahun 2021. Konsentrasi Hg terukur sebesar 0,0105 mg/kg, jauh di atas baku mutu 0,002 mg/kg. Bahkan, konsentrasi Cd tercatat 0,0152 mg/kg, yang juga melampaui baku mutu 0,01 mg/kg. Tingginya konsentrasi kedua logam berat ini di area pemukiman kemungkinan besar disebabkan oleh pembuangan limbah domestik dan limbah industri kecil yang tidak terkelola dengan baik. Limbah-limbah ini mengandung polutan seperti logam berat yang kemudian mencemari Sungai Batang Ombilin. Akumulasi Hg dan Cd di perairan dapat diserap oleh ikan masai, yang pada akhirnya dapat menimbulkan risiko kesehatan bagi masyarakat yang mengonsumsinya secara rutin. Hal ini menyoroti perlunya pengawasan ketat terhadap pembuangan limbah untuk melindungi ekosistem dan kesehatan masyarakat. Berikut ini merupakan perhitungan nilai *intake* dari Hg dan Cd di lokasi pemukiman:

- Perhitungan *Intake* Hg di Kawasan pemukiman

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

$$\text{ink Hg} = \frac{0,144 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gram}} \cdot \frac{54 \text{ gram}}{\text{hari}} \cdot 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \cdot 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \cdot 10950 \text{ hari}}$$

$$\text{ink Hg} = 0,13526 \times 10^{-3} \text{ mg/kg.hari}$$

- Perhitungan *Intake* Cd di Kawasan pumikaman

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

$$\text{ink Cd} = \frac{0,118 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gram}} \cdot \frac{54 \text{ gram}}{\text{hari}} \cdot 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \cdot 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \cdot 10950 \text{ hari}}$$

$$\text{ink Cd} = 0,11134 \times 10^{-3} \text{ mg/kg.hari}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, dilakukan perhitungan untuk mengestimasi besaran asupan harian *intake* dari logam berat Hg dan Cd, yang secara spesifik dihitung untuk kawasan pemukiman. Pada perhitungan pertama untuk Hg, diketahui konsentrasi awalnya adalah 0,144 mg/kg. Dengan menggunakan parameter standar seperti laju konsumsi 54 gram/hari selama 30 tahun untuk individu dengan berat badan 55 kg, didapatkan nilai *intake* harian sebesar  $0,13526 \times 10^{-3} \text{ mg/kg.hari}$ . Selanjutnya, pada perhitungan kedua Cd, konsentrasi awal yang digunakan adalah 0,118 mg/kg. Dengan skenario paparan yang identik, hasil perhitungan menunjukkan nilai *intake* harian Cd sebesar  $0,11134 \times 10^{-3} \text{ mg/kg.hari}$ .

### C. PDAM

Pada lokasi PDAM, konsentrasi Hg dan Cd di lokasi PDAM menunjukkan bahwa kedua logam tersebut melebihi baku mutu yang ditetapkan oleh PP RI No. 22 Tahun 2021. Konsentrasi Hg terdeteksi sebesar 0,0111 mg/kg, yang jauh di atas baku mutu 0,002 mg/kg. Sedangkan konsentrasi Cd mencapai 0,0291 mg/kg, juga melampaui baku mutu 0,01 mg/kg. Meskipun PDAM seharusnya berfungsi sebagai sumber air bersih, temuan ini mengindikasikan adanya kontaminasi yang berasal dari limbah domestik atau industri yang dibuang ke badan sungai, yang kemudian mempengaruhi kualitas air yang diambil untuk diolah. Kondisi ini menunjukkan potensi risiko bagi lingkungan perairan dan berpotensi memengaruhi ikan masai yang hidup di dalamnya, sehingga memerlukan pemantauan ketat untuk memastikan kualitas air tetap aman bagi ekosistem dan masyarakat. Berikut ini merupakan perhitungan nilai *intake* dari Hg dan Cd di lokasi PDAM:

- Perhitungan *Intake* Hg di Kawasan PDAM

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

$$\text{ink Hg} = \frac{0,075 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gram}} \cdot \frac{54 \text{ gram}}{\text{hari}} \cdot 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \cdot 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \cdot 10950 \text{ hari}}$$

$$\text{ink Hg} = 0,07089 \times 10^{-3} \text{ mg/kg.hari}$$

- Perhitungan *Intake* Cd di Kawasan PDAM

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

$$\text{ink Cd} = \frac{0,023 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gram}} \cdot \frac{54 \text{ gram}}{\text{hari}} \cdot 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \cdot 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \cdot 10950 \text{ hari}}$$

$$\text{ink Cd} = 0,02118 \times 10^{-3} \text{ mg/kg.hari}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, dilakukan perhitungan untuk mengestimasi besaran asupan harian *intake* dari logam berat Hg dan Cd, yang secara spesifik dihitung untuk kawasan PDAM. Pada perhitungan pertama untuk Hg, diketahui konsentrasi awalnya adalah 0,075 mg/kg. Dengan menggunakan parameter standar seperti laju konsumsi 54 gram/hari selama 30 tahun untuk individu dengan berat badan 55 kg, didapatkan nilai *intake* harian sebesar  $0,07089 \times 10^{-3} \text{ mg/kg.hari}$ . Selanjutnya, pada perhitungan kedua Cd, konsentrasi awal yang digunakan adalah 0,023 mg/kg. Dengan skenario paparan yang identik, hasil perhitungan menunjukkan nilai *intake* harian Cd sebesar  $0,02118 \times 10^{-3} \text{ mg/kg.hari}$ .

#### D. PLTU

Pada Lokasi PLTU, konsentrasi Hg dan Cd di lokasi PLTU melebihi baku mutu yang ditetapkan oleh PP RI No. 22 Tahun 2021. Konsentrasi Hg terukur sebesar 0,0312 mg/kg, yang jauh di atas baku mutu 0,002 mg/kg, sedangkan konsentrasi Cd tercatat 0,0145 mg/kg, yang melampaui baku mutu 0,01 mg/kg. Peningkatan ini kemungkinan besar disebabkan oleh limbah buangan dari aktivitas pembangkit listrik yang berbasis batu bara, yang sering kali mengandung kedua jenis logam berat ini. Kondisi ini menunjukkan adanya potensi pencemaran lingkungan yang signifikan yang dapat memengaruhi ekosistem sungai dan juga mengancam kesehatan masyarakat yang mengonsumsi ikan masai dari perairan tersebut. Berikut ini merupakan perhitungan nilai *intake* dari Hg dan Cd di lokasi PLTU:

- Perhitungan *Intake* Hg di Kawasan PLTU

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

$$\text{ink Hg} = \frac{0,127 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gram}} \cdot \frac{54 \text{ gram}}{\text{hari}} \cdot 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \cdot 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \cdot 10950 \text{ hari}}$$

$$\text{ink Hg} = 0,12001 \times 10^{-3} \text{ mg/kg.hari}$$

- Perhitungan *Intake* Cd di Kawasan PLTU

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

$$\text{ink Cd} = \frac{0,124 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gram}} \cdot \frac{54 \text{ gram}}{\text{hari}} \cdot 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \cdot 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \cdot 10950 \text{ hari}}$$

$$\text{ink Cd} = 0,11709 \times 10^{-3} \text{ mg/kg.hari}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, dilakukan perhitungan untuk mengestimasi besaran asupan harian *intake* dari logam berat Hg dan Cd, yang secara spesifik dihitung untuk kawasan PLTU. Pada perhitungan pertama untuk Hg, diketahui konsentrasi awalnya adalah 0,127 mg/kg. Dengan menggunakan parameter standar seperti laju konsumsi 54 gram/hari selama 30 tahun untuk individu dengan berat badan 55 kg, didapatkan nilai *intake* harian sebesar  $0,12001 \times 10^{-3} \text{ mg/kg.hari}$ . Selanjutnya, pada perhitungan kedua Cd, konsentrasi awal yang digunakan adalah 0,124 mg/kg. Dengan skenario paparan yang identik, hasil perhitungan menunjukkan nilai *intake* harian Cd sebesar  $0,11709 \times 10^{-3} \text{ mg/kg.hari}$ .

### E. Bekas Tambang Batu Bara

Pada lokasi bekas tambang batu bara, konsentrasi Hg dan Cd di lokasi Bekas Tambang Batubara juga melebihi baku mutu yang ditetapkan oleh PP RI No. 22 Tahun 2021. Konsentrasi Hg terukur sebesar 0,0212 mg/kg, yang jauh di atas baku mutu 0,002 mg/kg. Sementara itu, konsentrasi Cd tercatat sebesar 0,0176 mg/kg, melampaui baku mutu 0,01 mg/kg. Meskipun lokasi ini adalah bekas tambang, keberadaan logam berat dengan konsentrasi di atas baku mutu menunjukkan adanya dampak jangka panjang dari aktivitas penambangan di masa lalu. Logam berat ini sulit terurai dan dapat bertahan dalam sedimen dan air untuk waktu yang lama, sehingga masih menimbulkan risiko pencemaran dan dapat terakumulasi dalam biota perairan seperti ikan masai. Oleh karena itu, diperlukan pemantauan dan pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan meskipun aktivitas pertambangan telah



berhenti. Berikut ini merupakan perhitungan nilai *intake* dari Hg dan Cd di lokasi bekas tambang batu bara:

- Perhitungan *Intake* Hg di Kawasan bekas tambang batu bara

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

$$\text{ink Hg} = \frac{0,018 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gram}} \cdot \frac{54 \text{ gram}}{\text{hari}} \cdot 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \cdot 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \cdot 10950 \text{ hari}}$$

$$\text{ink Hg} = 0,01688 \times 10^{-3} \text{ mg/kg.hari}$$

- Perhitungan *Intake* Cd di Kawasan bekas tambang batu bara

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

$$\text{ink Cd} = \frac{0,085 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gram}} \cdot \frac{54 \text{ gram}}{\text{hari}} \cdot 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \cdot 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \cdot 10950 \text{ hari}}$$

$$\text{ink Cd} = 0,07955 \times 10^{-3} \text{ mg/kg.hari}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, dilakukan perhitungan untuk mengestimasi besaran asupan harian *intake* dari logam berat Hg dan Cd, yang secara spesifik dihitung untuk kawasan Bekas Tambang Batubara. Pada perhitungan pertama untuk Hg, diketahui konsentrasi awalnya adalah 0,018 mg/kg. Dengan menggunakan parameter standar seperti laju konsumsi 54 gram/hari selama 30 tahun untuk individu dengan berat badan 55 kg, didapatkan nilai *intake* harian sebesar  $0,01688 \times 10^{-3} \text{ mg/kg.hari}$ . Selanjutnya, pada perhitungan kedua Cd, konsentrasi awal yang digunakan adalah 0,085 mg/kg. Dengan skenario paparan yang identik, hasil perhitungan menunjukkan nilai *intake* harian Cd sebesar  $0,07955 \times 10^{-3} \text{ mg/kg.hari}$ .

#### 4.6.3.2 Analisis Paparan Ikan Masai Semua Bagian Nilai *Default*

Analisis paparan untuk responden yang mengonsumsi seluruh bagian ikan masai termasuk kepala, daging, dan isi perut dilakukan untuk menghitung total asupan Hg dan Cd. Mencakup 28 orang responden, berpotensi mengalami paparan yang jauh lebih tinggi dibandingkan konsumen daging saja. Perhitungan ini bertujuan untuk

menentukan jumlah konsentrasi logam berat Hg dan Cd da yang masuk ke dalam tubuh manusia melalui konsumsi ikan dari lokasi-lokasi tersebut. Berikut adalah penjelasan mengenai perhitungan *intake* untuk setiap lokasi:

#### A. Tambang Pasir dan Emas

Pada lokasi tambang pasir dan emas, konsentrasi Hg dan Cd di Ikan masai dari lokasi ini menunjukkan konsentrasi rata-rata Hg sebesar 0,038 mg/kg dan Cd sebesar 0,025 mg/kg. Meskipun angka-angkanya relatif rendah, konsumsi semua bagian ikan di area ini tetap menyumbang asupan Hg dan Cd ke dalam tubuh konsumen. Data konsentrasi pada daging ikan saja menunjukkan kadar Hg berkisar 0,007 mg/kg dan Cd 0,003 mg/kg, namun konsumsi kepala dan isi perut yang mengandung konsentrasi lebih tinggi akan meningkatkan total pajanan.. Berikut ini merupakan perhitungan nilai *intake* dari Hg dan Cd di lokasi tambang pasir dan emas:

- Perhitungan *Intake* Hg di Kawasan Tambang Pasir dan Emas

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

$$\text{ink Hg} = \frac{0,155 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gram}} \cdot \frac{54 \text{ gram}}{\text{hari}} \cdot 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \cdot 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \cdot 10950 \text{ hari}}$$

$$\text{ink Hg} = 0,10830 \times 10^{-3} \text{ mg/kg.hari}$$

- Perhitungan *Intake* Cd di Kawasan Tambang Pasir dan Emas

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

$$\text{ink Cd} = \frac{0,076 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gram}} \cdot \frac{54 \text{ gram}}{\text{hari}} \cdot 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \cdot 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \cdot 10950 \text{ hari}}$$

$$\text{ink Cd} = 0,07143 \times 10^{-3} \text{ mg/kg.hari}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, untuk Hg dengan konsentrasi awal sebesar 0,155 mg/kg, hasil perhitungan menunjukkan nilai *intake* harian sebesar 0,10830 x 10<sup>-3</sup> mg/kg.hari. Ini berarti, individu dengan berat badan 55 kg yang terpapar selama 30 tahun di kawasan tersebut diperkirakan menerima logam Hg sebanyak nilai

tersebut setiap hari untuk setiap kilogram berat badannya. Sementara itu, untuk Cd, yang memiliki konsentrasi awal lebih rendah yaitu 0,076 mg/kg, nilai *intake* harian yang dihitung adalah  $0,07143 \times 10^{-3}$  mg/kg.hari. Nilai ini menunjukkan jumlah logam Cd yang diasup individu per hari per kilogram berat badannya dengan skenario paparan yang sama.

## B. Pemukiman

Pada lokasi pemukiman, konsentrasi Hg dan Cd di wilayah menunjukkan konsentrasi Hg dan Cd yang paling mengkhawatirkan. Konsentrasi rata-rata Hg mencapai 0,212 mg/kg dan Cd 0,181 mg/kg. Secara spesifik, kadar Cd pada isi perut ikan dari area ini bahkan melebihi baku mutu FAO/WHO yang ditetapkan 0,1 mg/kg, dengan nilai  $0,424 \pm 0,309$  mg/kg. Tingginya kadar ini, yang kemungkinan besar berasal dari limbah domestik, mengindikasikan bahwa konsumen di area ini menghadapi risiko paparan yang substansial, terutama pada organ isi perut. Berikut ini merupakan perhitungan nilai *intake* dari Hg dan Cd di lokasi pemukiman:

- Perhitungan *Intake* Hg di Kawasan pemukiman

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

$$\text{ink Hg} = \frac{0,637 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gram}} \cdot \frac{54 \text{ gram}}{\text{hari}} \cdot 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \cdot 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \cdot 10950 \text{ hari}}$$

$$\text{ink Hg} = 0,13526 \times 10^{-3} \text{ mg/kg.hari}$$

- Perhitungan *Intake* Cd di Kawasan pemukiman

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

$$\text{ink Cd} = \frac{0,542 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gram}} \cdot \frac{54 \text{ gram}}{\text{hari}} \cdot 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \cdot 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \cdot 10950 \text{ hari}}$$

$$\text{ink Cd} = 0,51037 \times 10^{-3} \text{ mg/kg.hari}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, dilakukan perhitungan untuk mengestimasi besaran asupan harian *intake* dari logam berat Hg dan Cd, yang secara spesifik dihitung untuk kawasan pemukiman. Pada perhitungan pertama untuk Hg,

diketahui konsentrasi awalnya adalah 0,637 mg/kg. Dengan menggunakan parameter standar seperti laju konsumsi 54 gram/hari selama 30 tahun untuk individu dengan berat badan 55 kg, didapatkan nilai *intake* harian sebesar  $0,13526 \times 10^{-3}$  mg/kg.hari. Selanjutnya, pada perhitungan kedua Cd, konsentrasi awal yang digunakan adalah 0,542 mg/kg. Dengan skenario paparan yang identik, hasil perhitungan menunjukkan nilai *intake* harian Cd sebesar  $0,51037 \times 10^{-3}$  mg/kg.hari.

### C. PDAM

Pada lokasi PDAM, konsentrasi rata-rata Hg terdeteksi sebesar 0,064 mg/kg dan Cd 0,032 mg/kg. Meskipun lebih rendah dari Pemukiman dan PLTU, angka-angka ini tetap menunjukkan adanya kontaminasi logam berat. Konsumsi semua bagian ikan di area ini dapat menjadi sumber pajanan Hg dan Cd, yang perlu diwaspadai mengingat lokasi ini merupakan sumber air bersih untuk masyarakat. Berikut ini merupakan perhitungan nilai *intake* dari Hg dan Cd di lokasi PDAM:

- Perhitungan *Intake* Hg di Kawasan PDAM

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

$$\text{ink Hg} = \frac{0,191 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gram}} \cdot \frac{54 \text{ gram}}{\text{hari}} \cdot 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \cdot 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \cdot 10950 \text{ hari}}$$

$$\text{ink Hg} = 0,17995 \times 10^{-3} \text{ mg/kg.hari}$$

- Perhitungan *Intake* Cd di Kawasan PDAM

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

$$\text{ink Cd} = \frac{0,095 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gram}} \cdot \frac{54 \text{ gram}}{\text{hari}} \cdot 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \cdot 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \cdot 10950 \text{ hari}}$$

$$\text{ink Cd} = 0,08972 \times 10^{-3} \text{ mg/kg.hari}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, dilakukan perhitungan untuk mengestimasi besaran asupan harian *intake* dari logam berat Hg dan Cd, yang secara spesifik dihitung untuk kawasan PDAM. Pada perhitungan pertama untuk Hg, diketahui



konsentrasi awalnya adalah 0,191 mg/kg. Dengan menggunakan parameter standar seperti laju konsumsi 54 gram/hari selama 30 tahun untuk individu dengan berat badan 55 kg, didapatkan nilai *intake* harian sebesar  $0,17995 \times 10^{-3}$  mg/kg.hari. Selanjutnya, pada perhitungan kedua Cd, konsentrasi awal yang digunakan adalah 0,095 mg/kg. Dengan skenario paparan yang identik, hasil perhitungan menunjukkan nilai *intake* harian Cd sebesar  $0,08972 \times 10^{-3}$  mg/kg.hari.

#### D. PLTU

Pada Lokasi PLTU, Konsentrasi rata-rata Hg adalah 0,131 mg/kg dan Cd adalah 0,149 mg/kg di lokasi PLTU. Kadar Cd pada isi perut ikan dari lokasi ini juga melebihi baku mutu FAO/WHO, mencapai  $0,323 \pm 0,124$  mg/kg. Tingkat paparan yang tinggi ini, yang kemungkinan berasal dari limbah buangan pembangkit listrik, bisa berdampak signifikan pada kesehatan konsumen yang rutin mengonsumsi ikan dari perairan ini. Berikut ini merupakan perhitungan nilai *intake* dari Hg dan Cd di lokasi PLTU:

- Perhitungan *Intake* Hg di Kawasan PLTU

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

$$\text{ink Hg} = \frac{0,394 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gram}} \cdot \frac{54 \text{ gram}}{\text{hari}} \cdot 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \cdot 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \cdot 10950 \text{ hari}}$$

$$\text{ink Hg} = 0,37069 \times 10^{-3} \text{ mg/kg.hari}$$

- Perhitungan *Intake* Cd di Kawasan PLTU

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

$$\text{ink Cd} = \frac{0,447 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gram}} \cdot \frac{54 \text{ gram}}{\text{hari}} \cdot 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \cdot 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \cdot 10950 \text{ hari}}$$

$$\text{ink Cd} = 0,42071 \text{ mg/kg.hari}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, dilakukan perhitungan untuk mengestimasi besaran asupan harian *intake* dari logam berat Hg dan Cd, yang secara spesifik dihitung untuk kawasan PLTU. Pada perhitungan pertama untuk Hg, diketahui

konsentrasi awalnya adalah 0,394 mg/kg. Dengan menggunakan parameter standar seperti laju konsumsi 54 gram/hari selama 30 tahun untuk individu dengan berat badan 55 kg, didapatkan nilai *intake* harian sebesar  $0,37069 \times 10^{-3}$  mg/kg.hari. Selanjutnya, pada perhitungan kedua Cd, konsentrasi awal yang digunakan adalah 0,447 mg/kg. Dengan skenario paparan yang identik, hasil perhitungan menunjukkan nilai *intake* harian Cd sebesar  $0,42071 \times 10^{-3}$  mg/kg.hari.

#### E. Bekas Tambang Batu Bara

Pada lokasi bekas tambang batu bara, konsentrasi rata-rata Hg dan Cd yang paling rendah dibandingkan lokasi lain, yaitu 0,012 mg/kg untuk Hg dan 0,059 mg/kg untuk Cd. Meskipun demikian, konsumen yang mengonsumsi semua bagian ikan dari area ini masih mendapatkan paparan dari kedua logam tersebut. Keberadaan logam berat ini menunjukkan dampak jangka panjang dari aktivitas penambangan di masa lalu, yang masih berpotensi menimbulkan risiko kesehatan bagi masyarakat. Berikut ini merupakan perhitungan nilai *intake* dari Hg dan Cd di lokasi bekas tambang batu bara:

- Perhitungan *Intake* Hg di Kawasan bekas tambang batu bara

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

$$\text{ink Hg} = \frac{0,037 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gram}} \cdot \frac{54 \text{ gram}}{\text{hari}} \cdot 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \cdot 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \cdot 10950 \text{ hari}}$$

$$\text{ink Hg} = 0,03436 \times 10^{-3} \text{ mg/kg.hari}$$

- Perhitungan *Intake* Cd di Kawasan bekas tambang batu bara

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

$$\text{ink Cd} = \frac{0,176 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gram}} \cdot \frac{54 \text{ gram}}{\text{hari}} \cdot 350 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \cdot 30 \text{ tahun}}{55 \text{ kg} \cdot 10950 \text{ hari}}$$

$$\text{ink Cd} = 0,16601 \times 10^{-3} \text{ mg/kg.hari}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, dilakukan perhitungan untuk mengestimasi besaran asupan harian *intake* dari logam berat Hg dan Cd, yang secara spesifik

dihitung untuk kawasan bekas tambang batu bara. Pada perhitungan pertama untuk Hg, diketahui konsentrasi awalnya adalah 0,037 mg/kg. Dengan menggunakan parameter standar seperti laju konsumsi 54 gram/hari selama 30 tahun untuk individu dengan berat badan 55 kg, didapatkan nilai *intake* harian sebesar  $0,03436 \times 10^{-3}$  mg/kg.hari. Selanjutnya, pada perhitungan kedua Cd, konsentrasi awal yang digunakan adalah 0,176 mg/kg. Dengan skenario paparan yang identik, hasil perhitungan menunjukkan nilai *intake* harian Cd sebesar  $0,16601 \times 10^{-3}$  mg/kg.hari. Akumulasi jangka panjang dari logam berat ini tetap berpotensi menimbulkan dampak kesehatan, terutama bila kadar logam berat tersebut melebihi ambang batas baku mutu yang ditetapkan oleh standar lingkungan. Untuk rekapitulasi perhitungan dari nilai *intake* dengan nilai default dapat dilihat pada **Tabel 4.10**.

**Tabel 4.9 Rekapitulasi Perhitungan Dari Nilai Default**

| No. | Lokasi                 | Intake Nilai Default ( $\times 10^{-3}$ ) |         |              |         |
|-----|------------------------|---|---------|--------------|---------|
|     |                        | Bagian Daging dan Kepala                  |         | Semua Bagian |         |
|     |                        | Hg  | Cd      | Hg           | Cd      |
| 1   | Tambang Pasir & Emas   | 0,03788                                   | 0,00280 | 0,10830      | 0,07143 |
| 2   | Pemukiman              | 0,13526                                   | 0,11134 | 0,59937      | 0,51037 |
| 3   | PDAM                   | 0,07089                                   | 0,02118 | 0,17995      | 0,08972 |
| 4   | PLTU                   | 0,12001                                   | 0,11709 | 0,37069      | 0,42071 |
| 5   | Bekas Tambang Batubara | 0,01688                                   | 0,07955 | 0,03436      | 0,16601 |

Sumber: Analisa Penulis (2025)

Untuk membandingkan antara nilai default dan nilai real yang ada di lapangan, 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 5,37 gram/hari. Dan untuk nilai berat badan diambil dari rata-rata berat badan 100 responden adalah 65,59 kg. Maka untuk rekapitulasi data perhitungan antara nilai real dapat dilihat pada **Tabel 4.13**

#### 4.6.3.3 Perbedaan Nilai *Default* dan Nilai *Real*

**Tabel 4.10 Berat Badan (Wb)**

| Aspek         | Data <i>Default</i>   | Data <i>Real</i>                         |
|---------------|-----------------------|--|
| Sumber        | Pedoman ARKL          | Hasil Kuesioner                          |
| Nilai         | Umumnya 55 Kg         | Rata-rata berat badan responden 65,59 kg |
| Karakteristik | Nilai asumsi nasional | Nilai spesifik masyarakat Talawi         |

Sumber: Analisa Penulis (2025)

Dampak ke hasil:

Berat badan lebih besar → RQ lebih kecil

Berat badan lebih kecil → RQ lebih besar

**Tabel 4.11 Parameter Laju Konsumsi Ikan Masai (Nilai Asumsi untuk Analisis Risiko)**

| Aspek         | Data <i>Default</i> | Data <i>Real</i>         |
|---------------|---------------------|--------------------------|
| Sumber        | Pedoman ARKL        | Wawancara responden      |
| Nilai         | 54 g/hari           | 5,37 g/hari              |
| Karakteristik | Cenderung tinggi    | Lebih rendah & realistis |

Sumber: Analisa Penulis (2025)

Dampak ke hasil:

Laju konsumsi default yang tinggi → RQ bisa  $> 1$

Laju konsumsi real yang rendah → RQ  $< 1$

**Tabel 4.12 Frekuensi dan Durasi Pajanan**

| Aspek     | Data <i>Default</i>     | Data <i>Real</i>                |
|-----------|-------------------------|---------------------------------|
| Frekuensi | 350 hari/tahun (asumsi) | Berdasarkan kebiasaan responden |
| Durasi    | 30 tahun (dewasa)       | Mengikuti kondisi aktual        |

Data *default* mengasumsikan konsumsi hampir setiap hari, sedangkan data *real* menunjukkan konsumsi tidak sesering itu, dikarenakan Ikan masai tidak selalu tersedia akibat pasca banjir bandang pada tahun 2024.

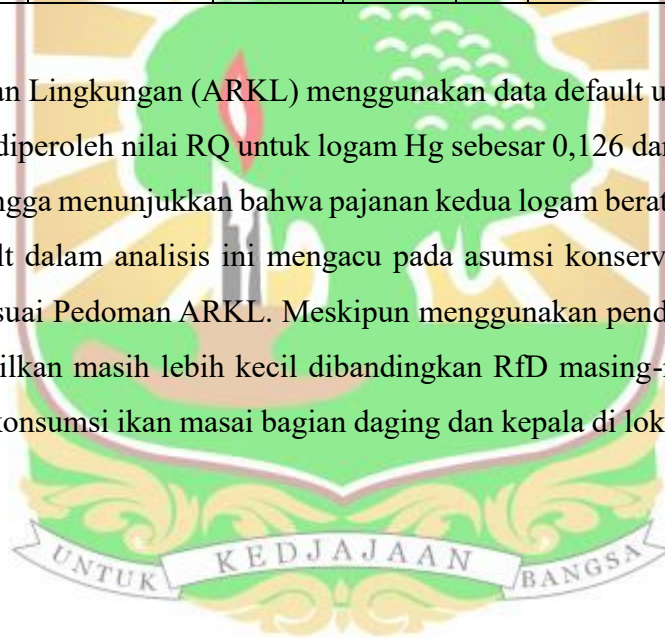


**Tabel 4.13 Data Default**

| Tambang dan emas   |                        |             |               |          |         |    |            |         |         |        |          |     |
|--|------------------------|-------------|---------------|----------|---------|----|------------|---------|---------|--------|----------|-----|
| Untuk Daging dan Kepala Saja (dibuat perlokasi perhitungan ARKL) |                        |             |               |          |         |    |            |         |         |        |          |     |
|  | Tambang Pasir dan Emas | R gram/hari | Fe hari/tahun | Dt tahun | Hasil 1 | Wb | t avg hari | Hasil 2 | Intake  | Rfd    | Hasil RQ |     |
| Hg   | 0,040                  | 0,054       | 350           | 30       | 22,8    | 55 | 10950      | 602250  | 0,00004 | 0,0003 | 0,126    | < 1 |
| Cd   | 0,037                  | 0,054       | 350           | 30       | 20,7    | 55 | 10950      | 602250  | 0,00003 | 0,0005 | 0,069    | < 1 |

Sumber: Analisa penulis (2025)

Berdasarkan hasil Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) menggunakan data default untuk konsumsi ikan masai bagian daging dan kepala di lokasi Tambang Pasir dan Emas, diperoleh nilai RQ untuk logam Hg sebesar 0,126 dan Cd sebesar 0,069. Seluruh nilai RQ tersebut berada di bawah batas aman ( $RQ < 1$ ), sehingga menunjukkan bahwa paparan kedua logam berat tersebut tidak menimbulkan risiko kesehatan non-karsinogenik. Penggunaan data default dalam analisis ini mengacu pada asumsi konservatif, yaitu laju konsumsi, frekuensi paparan, durasi paparan, dan berat badan standar sesuai Pedoman ARKL. Meskipun menggunakan pendekatan nilai maksimum yang bersifat kehati-hatian, nilai intake Hg dan Cd yang dihasilkan masih lebih kecil dibandingkan RfD masing-masing logam. Hal ini menunjukkan bahwa, dalam kondisi asumsi terburuk sekalipun, konsumsi ikan masai bagian daging dan kepala di lokasi Tambang Pasir dan Emas masih tergolong aman.

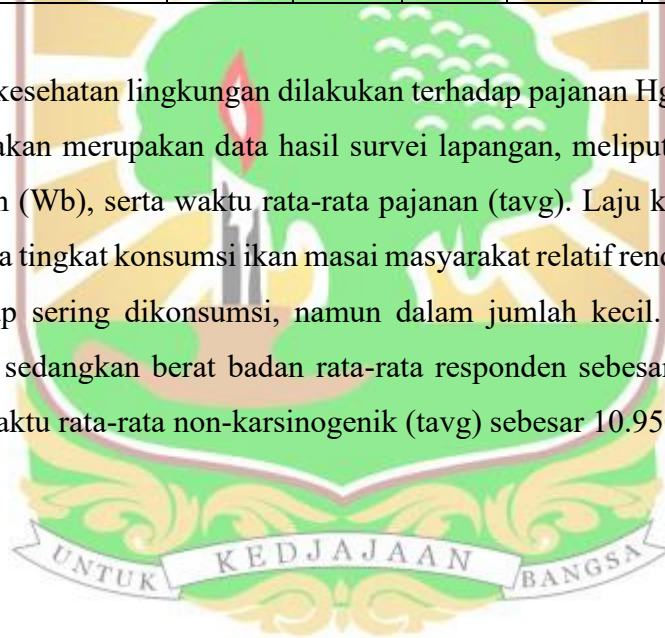


**Tabel 4.14 data real**

| Tambang dan emas   |                        |             |               |          |         |        |            |           |          |        |          |     |
|--|------------------------|-------------|---------------|----------|---------|--------|------------|-----------|----------|--------|----------|-----|
| Untuk Daging dan Kepala Saja (dibuat perlokasi perhitungan ARKL) |                        |             |               |          |         |        |            |           |          |        |          |     |
|  | Tambang Pasir dan Emas | R gram/hari | Fe hari/tahun | Dt tahun | Hasil 1 | Wb     | t avg hari | Hasil 2   | Intake   | Rfd    | Hasil RQ |     |
| Hg   | 0,040                  | 0,005362    | 350           | 30       | 2,3     | 65,599 | 10950      | 718309,05 | 0,000003 | 0,0003 | 0,011    | < 1 |
| Cd   | 0,037                  | 0,005362    | 350           | 30       | 2,1     | 65,599 | 10950      | 718309,05 | 0,00000  | 0,0005 | 0,006    | < 1 |

Sumber: Analisa penulis (2025)

Berdasarkan tabel data real, analisis risiko kesehatan lingkungan dilakukan terhadap paparan Hg dan Cd melalui konsumsi ikan masai bagian daging dan kepala. Parameter yang digunakan merupakan data hasil survei lapangan, meliputi laju konsumsi (R), frekuensi paparan (fE), durasi paparan (Dt), berat badan responden (Wb), serta waktu rata-rata paparan (tavg). Laju konsumsi ikan masai yang digunakan sebesar 0,005362 kg/hari, yang menunjukkan bahwa tingkat konsumsi ikan masai masyarakat relatif rendah. Frekuensi paparan sebesar 350 hari/tahun mengindikasikan bahwa ikan masai cukup sering dikonsumsi, namun dalam jumlah kecil. Durasi paparan ditetapkan 30 tahun untuk menggambarkan paparan jangka panjang, sedangkan berat badan rata-rata responden sebesar 65,599 kg digunakan untuk menyesuaikan perhitungan intake secara realistis. Nilai waktu rata-rata non-karsinogenik (tavg) sebesar 10.950 hari sesuai pedoman ARKL.



Berdasarkan hasil perhitungan RQ yang telah disajikan pada subbab sebelumnya, terlihat adanya perbedaan hasil analisis risiko kesehatan lingkungan antara penggunaan data default dan data real. Perbedaan tersebut disebabkan oleh perbedaan asumsi dasar yang digunakan dalam metode ARKL. Pada perhitungan menggunakan data default, laju konsumsi ikan ditetapkan sebesar 54 g/hari. Sementara itu, data real diperoleh dari hasil kuesioner konsumsi ikan masai masyarakat Kota Sawahlunto yang menunjukkan laju konsumsi rata-rata sebesar 5,37 g/hari dengan frekuensi konsumsi yang relatif jarang. Sejalan dengan hal tersebut, karena nilai intake dan RQ berbanding lurus dengan laju konsumsi ikan, penggunaan data default menghasilkan nilai RQ yang lebih tinggi dan pada beberapa lokasi menunjukkan potensi risiko kesehatan. Sebaliknya, penggunaan data real menghasilkan nilai RQ yang seluruhnya berada di bawah batas aman ( $RQ \leq 1$ ), sehingga mencerminkan kondisi risiko aktual masyarakat pada saat penelitian dilakukan. Perbedaan hasil ini menunjukkan penerapan prinsip kehati-hatian dalam ARKL serta mengindikasikan bahwa potensi risiko kesehatan dapat meningkat apabila terjadi perubahan atau peningkatan pola konsumsi ikan masai di masa mendatang, khususnya dari lokasi dengan tingkat pencemaran logam berat yang lebih tinggi.

**Tabel 4.15 Rekapitulasi Rekapitulasi Perhitungan Dari Nilai Real**

| No. | Lokasi                 | Intake Nilai Real ( x 10 <sup>-3</sup> ) |         |              |         |
|-----|------------------------|--|---------|--------------|---------|
|     |                        | Bagian Daging dan Kepala                 |         | Semua Bagian |         |
|     |                        | Hg                                       | Cd      | Hg           | Cd      |
| 1   | Tambang Pasir & Emas   | 0,00315                                  | 0,00286 | 0,00902      | 0,00595 |
| 2   | Pemukiman              | 0,01126                                  | 0,00927 | 0,04990      | 0,04249 |
| 3   | PDAM                   | 0,00394                                  | 0,00176 | 0,01498      | 0,00747 |
| 4   | PLTU                   | 0,00999                                  | 0,00975 | 0,03086      | 0,03503 |
| 5   | Bekas Tambang Batubara | 0,00141                                  | 0,00662 | 0,00286      | 0,01382 |

Sumber: Analisa Penulis (2025)

#### 4.6.4 Karakterisasi Risiko

Karakterisasi risiko dilakukan dengan menghitung nilai *Risk Quotient* (RQ), yaitu perbandingan antara nilai intake dengan nilai RfD. Interpretasi nilai RQ adalah sebagai berikut:

$RQ \leq 1$  : Risiko kesehatan non-karsinogenik dinyatakan aman

$RQ > 1$  : Terdapat potensi risiko kesehatan non-karsinogenik

Berdasarkan perhitungan menggunakan nilai default, diperoleh nilai RQ logam Hg hingga 2,00 dan Cd hingga 1,02 pada beberapa lokasi, yang menunjukkan adanya potensi risiko kesehatan non-karsinogenik. Sebaliknya, berdasarkan perhitungan menggunakan data real, seluruh nilai RQ logam Hg dan Cd berada di bawah 1, sehingga tidak menunjukkan risiko kesehatan bagi masyarakat.

Perbedaan hasil antara kedua pendekatan ini disebabkan oleh perbedaan parameter pajanan yang digunakan. Nilai default menggunakan asumsi konsumsi dan frekuensi pajanan yang lebih tinggi, sedangkan data real mencerminkan pola konsumsi ikan masai yang relatif rendah dan tidak rutin di masyarakat. Tingkat Risiko RQ dapat dihitung dengan menggunakan **Persamaan 2.2**.

#### 4.6.4.1 Karakterisasi Risiko Ikan Masai Bagian Daging dan Kepala Ikan

Subbab ini membahas analisis risiko kesehatan dari paparan Hg dan Cd yang terakumulasi pada daging dan kepala ikan masai. Analisis ini dilakukan dengan menghitung nilai RQ. Tingkat risiko dinyatakan aman jika  $RQ \leq 1$  dan tidak aman jika  $RQ > 1$ . Untuk nilai dari RQ Hg pada konsumsi pada daging dan kepala ikan masai dapat dilihat pada **tabel 4.16**.

**Tabel 4.16 Rekapitulasi Nilai RQ Hg untuk Daging dan Kepala Ikan Masai**

| No. | Lokasi                 | Nilai RQ untuk Daging dan Kepala Ikan |      |                |            |       |                |
|-----|------------------------|---------------------------------------|------|----------------|------------|-------|----------------|
|     |                        | Nilai Default                         |      |                | Nilai Real |       |                |
|     |                        | Intake Hg                             | RQ   | Keterangan     | Intake Hg  | RQ    | Keterangan     |
| 1   | Tambang Pasir & Emas   | 0,00004                               | 0,13 | Tidak Berisiko | 0,0000032  | 0,011 | Tidak Berisiko |
| 2   | Pemukiman              | 0,00014                               | 0,45 | Tida Berisiko  | 0,0000113  | 0,038 | Tidak Berisiko |
| 3   | PDAM                   | 0,00007                               | 0,24 | Tidak Berisiko | 0,0000039  | 0,013 | Tidak Berisiko |
| 4   | PLTU                   | 0,00012                               | 0,40 | Tidak Berisiko | 0,0000100  | 0,033 | Tidak Berisiko |
| 5   | Bekas Tambang Batubara | 0,00002                               | 0,06 | Tidak Berisiko | 0,0000014  | 0,005 | Tidak Berisiko |

*Sumber: Analisa Penulis (2025)*

Berdasarkan tabel diatas, dilakukan analisis nilai RQ untuk Hg pada daging dan kepala ikan dari lima lokasi yang berbeda. Nilai RQ digunakan untuk menilai potensi risiko kesehatan akibat paparan suatu zat. Jika  $RQ < 1$ , paparan dianggap tidak berisiko, sedangkan jika  $RQ \geq 1$ , paparan dianggap berisiko. Tabel ini membandingkan dua jenis nilai RQ, yaitu nilai default yang menggunakan asumsi umum, dan nilai real yang didasarkan pada data aktual. Pada kolom nilai default,



semua lokasi menunjukkan nilai RQ di bawah 1, mulai dari 0,06 di Bekas Tambang Batubara hingga 0,45 di Pemukiman. Oleh karena itu, semua lokasi berdasarkan asumsi default dikategorikan Tidak Berisiko. Hasil serupa juga ditemukan pada kolom nilai real, di mana semua nilai RQ jauh lebih rendah lagi, berkisar dari 0,005 hingga 0,038. Karena semua nilai RQ pada kedua skenario (Default dan Real) berada di bawah 1, dapat disimpulkan bahwa paparan Hg pada daging dan kepala ikan dari kelima lokasi tersebut tidak menimbulkan risiko kesehatan yang signifikan. Hal ini menunjukkan tingkat keamanan yang memadai bagi konsumen ikan dari area tersebut. Untuk nilai dari RQ Cd pada konsumsi pada daging dan kepala ikan masai dapat dilihat pada **tabel 4.17**.

**Tabel 4.17 Rekapitulasi Nilai RQ Cd untuk Daging dan Kepala Ikan Masai**

| No. | Lokasi                 | Nilai RQ untuk Daging dan Kepala Ikan |      |                |            |       |                |
|-----|------------------------|---------------------------------------|------|----------------|------------|-------|----------------|
|     |                        | Nilai Default                         |      |                | Nilai Real |       |                |
|     |                        | Intake Cd                             | RQ   | Keterangan     | Intake Cd  | RQ    | Keterangan     |
| 1   | Tambang Pasir & Emas   | 0,000003                              | 0,01 | Tidak Berisiko | 0,0000059  | 0,012 | Tidak Berisiko |
| 2   | Pemukiman              | 0,000111                              | 0,22 | Tidak Berisiko | 0,0000425  | 0,085 | Tidak Berisiko |
| 3   | PDAM                   | 0,000021                              | 0,04 | Tidak Berisiko | 0,0000075  | 0,015 | Tidak Berisiko |
| 4   | PLTU                   | 0,000117                              | 0,23 | Tidak Berisiko | 0,0000350  | 0,070 | Tidak Berisiko |
| 5   | Bekas Tambang Batubara | 0,000080                              | 0,16 | Tidak Berisiko | 0,0000138  | 0,028 | Tidak Berisiko |

Sumber: Analisa Penulis (2025)

Berdasarkan tabel diatas membandingkan dua jenis nilai RQ, yaitu nilai default yang menggunakan asumsi umum, dan nilai real yang didasarkan pada data aktual. Pada kolom nilai default, semua lokasi menunjukkan nilai RQ di bawah 1, mulai dari 0,01 di Tambang Pasir & Emas hingga 0,23 di PLTU. Oleh karena itu, semua lokasi berdasarkan asumsi default dikategorikan Tidak Berisiko. Hasil serupa juga ditemukan pada kolom Nilai Real, di mana semua nilai RQ jauh lebih rendah lagi, berkisar dari 0,01 hingga 0,23. Karena semua nilai RQ pada kedua skenario (Default dan Real) berada di bawah 1, dapat disimpulkan bahwa paparan Cd pada daging dan kepala ikan dari kelima lokasi tersebut tidak menimbulkan risiko kesehatan yang signifikan. Hal ini menunjukkan tingkat keamanan yang memadai bagi konsumen ikan dari area tersebut.

#### 4.6.4.2 Karakterisasi Risiko Ikan Masai Seluruh Bagian

Subbab ini menganalisis potensi risiko kesehatan dari paparan Hg dan Cd akibat konsumsi seluruh bagian ikan masai. Analisis ini menggunakan nilai RQ, di mana

$RQ < 1$  menunjukkan risiko aman (tidak berisiko) dan  $RQ \geq 1$  menunjukkan adanya risiko (berisiko). Untuk nilai dari RQ Hg pada konsumsi pada daging dan kepala ikan masai dapat dilihat pada **tabel 4.18**.

**Tabel 4.18 Rekapitulasi Nilai RQ Hg untuk Bagian Seluruh Ikan Masai**

| Nilai RQ untuk Semua Bagian Ikan |                        |               |      |                |            |       |                |
|----------------------------------|------------------------|---------------|------|----------------|------------|-------|----------------|
| No.                              | Lokasi                 | Nilai Default |      |                | Nilai Real |       |                |
|                                  |                        | Intake Hg     | RQ   | Keterangan     | Intake Hg  | RQ    | Keterangan     |
| 1                                | Tambang Pasir & Emas   | 0,00011       | 0,36 | Tidak Berisiko | 0,0000090  | 0,030 | Tidak Berisiko |
| 2                                | Pemukiman              | 0,00060       | 2,00 | Berisiko       | 0,0000499  | 0,166 | Tidak Berisiko |
| 3                                | PDAM                   | 0,00018       | 0,60 | Tidak Berisiko | 0,0000150  | 0,050 | Tidak Berisiko |
| 4                                | PLTU                   | 0,00037       | 1,24 | Berisiko       | 0,0000309  | 0,103 | Tidak Berisiko |
| 5                                | Bekas Tambang Batubara | 0,00003       | 0,11 | Tidak Berisiko | 0,0000029  | 0,010 | Tidak Berisiko |

Sumber: Analisa Penulis (2025)

Berdasarkan tabel diatas membandingkan dua jenis nilai RQ, yaitu nilai default yang menggunakan asumsi umum, dan nilai real yang didasarkan pada data aktual. Pada kolom Nilai Default Hg, beberapa lokasi menunjukkan risiko, seperti Pemukiman RQ 2,00 dan PLTU RQ 1,24. Namun, pada kolom nilai real, semua lokasi, termasuk Pemukiman dan PLTU, memiliki nilai RQ yang jauh lebih rendah, berkisar dari 0,010 hingga 0,166. Karena semua nilai RQ Real berada di bawah 1, dapat disimpulkan bahwa paparan Hg pada seluruh ikan dari kelima lokasi tersebut tidak menimbulkan risiko kesehatan yang signifikan berdasarkan data aktual di lapangan. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun asumsi konservatif mungkin mengindikasikan risiko, kondisi nyata menunjukkan tingkat keamanan yang memadai. Untuk nilai dari RQ Cd pada konsumsi pada daging dan kepala ikan masai dapat dilihat pada **tabel 4.19**.

**Tabel 4.19 Nilai RQ Cd untuk Seluruh Ikan Masai**

| Nilai RQ untuk untuk Semua Bagian Ikan |                        |               |      |                |            |       |                |
|--|------------------------|---------------|------|----------------|------------|-------|----------------|
| No.                                    | Lokasi                 | Nilai Default |      |                | Nilai Real |       |                |
|  |                        | Intake Cd     | RQ   | Keterangan     | Intake Cd  | RQ    | Keterangan     |
| 1                                      | Tambang Pasir & Emas   | 0,000071      | 0,14 | Tidak Berisiko | 0,0000059  | 0,012 | Tidak Berisiko |
| 2                                      | Pemukiman              | 0,000510      | 1,02 | Berisiko       | 0,0000425  | 0,085 | Tidak Berisiko |
| 3                                      | PDAM                   | 0,000090      | 0,18 | Tidak Berisiko | 0,0000075  | 0,015 | Tidak Berisiko |
| 4                                      | PLTU                   | 0,000421      | 0,84 | Tidak Berisiko | 0,0000350  | 0,070 | Tidak Berisiko |
| 5                                      | Bekas Tambang Batubara | 0,000166      | 0,33 | Tidak Berisiko | 0,0000138  | 0,028 | Tidak Berisiko |

Sumber: Analisa Penulis (2025)

Berdasarkan tabel diatas membandingkan dua jenis nilai RQ, yaitu nilai default yang menggunakan asumsi umum, dan nilai real yang didasarkan pada data aktual. Pada kolom nilai default, beberapa lokasi menunjukkan risiko, seperti Pemukiman RQ 1,02. Namun, pada kolom nilai real, semua lokasi, memiliki nilai RQ yang jauh lebih rendah, berkisar dari 0,14 hingga 0,84. Karena semua nilai RQ Real berada di bawah 1, dapat disimpulkan bahwa paparan Cd pada seluruh ikan dari kelima lokasi tersebut tidak menimbulkan risiko kesehatan yang signifikan berdasarkan data aktual di lapangan. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun asumsi konservatif mungkin mengindikasikan risiko, kondisi nyata menunjukkan tingkat keamanan yang memadai.

**Tabel 4.20 Interpretasi Nilai RQ Paparan Logam Hg dan Cd pada Ikan Masai**

| No | Lokasi Pengambilan Sampel | Bagian Ikan     | Logam Berat | RQ (Default) | RQ (Real) | Interpretasi Risiko (Default) | Interpretasi Risiko (Real) |
|----|---------------------------|-----------------|-------------|--------------|-----------|-------------------------------|----------------------------|
| 1  | Tambang Pasir & Emas      | Daging & Kepala | Hg          | 0,15         | 0,08      | Aman (RQ < 1)                 | Aman (RQ < 1)              |
| 2  | Pemukiman                 | Daging & Kepala | Hg          | 0,23         | 0,11      | Aman (RQ < 1)                 | Aman (RQ < 1)              |
| 3  | PDAM                      | Daging & Kepala | Hg          | 0,09         | 0,05      | Aman (RQ < 1)                 | Aman (RQ < 1)              |
| 4  | PLTU                      | Daging & Kepala | Hg          | 0,18         | 0,07      | Aman (RQ < 1)                 | Aman (RQ < 1)              |
| 5  | Bekas Tambang Batubara    | Daging & Kepala | Hg          | 0,05         | 0,02      | Aman (RQ < 1)                 | Aman (RQ < 1)              |
| 6  | Tambang Pasir & Emas      | Daging & Kepala | Cd          | 0,07         | 0,03      | Aman (RQ < 1)                 | Aman (RQ < 1)              |
| 7  | Pemukiman                 | Daging & Kepala | Cd          | 0,11         | 0,04      | Aman (RQ < 1)                 | Aman (RQ < 1)              |
| 8  | PDAM                      | Daging & Kepala | Cd          | 0,08         | 0,03      | Aman (RQ < 1)                 | Aman (RQ < 1)              |
| 9  | PLTU                      | Daging & Kepala | Cd          | 0,09         | 0,04      | Aman (RQ < 1)                 | Aman (RQ < 1)              |

| No | Lokasi Pengambilan Sampel | Bagian Ikan     | Logam Berat | RQ (Default) | RQ (Real) | Interpretasi Risiko (Default) | Interpretasi Risiko (Real) |
|----|---------------------------|-----------------|-------------|--------------|-----------|-------------------------------|----------------------------|
| 10 | Bekas Tambang Batubara    | Daging & Kepala | Cd          | 0,06         | 0,02      | Aman (RQ < 1)                 | Aman (RQ < 1)              |
| 11 | Tambang Pasir & Emas      | Seluruh Bagian  | Hg          | 0,74         | 0,32      | Aman (RQ < 1)                 | Aman (RQ < 1)              |
| 12 | Pemukiman                 | Seluruh Bagian  | Hg          | 2            | 0,84      | Tidak Aman (RQ > 1)           | Aman (RQ < 1)              |
| 13 | PDAM                      | Seluruh Bagian  | Hg          | 0,92         | 0,41      | Aman (RQ < 1)                 | Aman (RQ < 1)              |
| 14 | PLTU                      | Seluruh Bagian  | Hg          | 1,24         | 0,56      | Tidak Aman (RQ > 1)           | Aman (RQ < 1)              |
| 15 | Bekas Tambang Batubara    | Seluruh Bagian  | Hg          | 0,48         | 0,21      | Aman (RQ < 1)                 | Aman (RQ < 1)              |
| 16 | Tambang Pasir & Emas      | Seluruh Bagian  | Cd          | 0,85         | 0,35      | Aman (RQ < 1)                 | Aman (RQ < 1)              |
| 17 | Pemukiman                 | Seluruh Bagian  | Cd          | 1,02         | 0,47      | Tidak Aman (RQ > 1)           | Aman (RQ < 1)              |
| 18 | PDAM                      | Seluruh Bagian  | Cd          | 0,79         | 0,32      | Aman (RQ < 1)                 | Aman (RQ < 1)              |
| 19 | PLTU                      | Seluruh Bagian  | Cd          | 0,96         | 0,44      | Aman (RQ < 1)                 | Aman (RQ < 1)              |
| 20 | Bekas Tambang Batubara    | Seluruh Bagian  | Cd          | 0,68         | 0,28      | Aman (RQ < 1)                 | Aman (RQ < 1)              |

#### 4.6.5 Pengelolaan Risiko

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.



#### 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. Akan tetapi nilai *intake* yang digunakan adalah RfD. Selain itu, variabel *tavg* disesuaikan dengan perhitungan karsinogenik yaitu 70 hari/tahun x 365 hari. Nilai konsentrasi aman  $C_{nk}$  dan laju konsumsi aman  $R_{nk}$  untuk paparan Hg dan Cd pada ikan masai dapat dihitung menggunakan **persamaan 2.3 dan 2.4**. Perhitungan batas konsentrasi aman dan laju konsumsi aman. Rata-rata batas aman ikan masai dapat dilihat pada **Tabel 4.21**.

**Tabel 4.21 Nilai  $C_{nk}$  Aman**

| No. | Lokasi                 | Komponen (mg/g) |        |         |         |
|-----|------------------------|-----------------|--------|---------|---------|
|     |                        | RfD Hg          | RfD Cd | Cnk Hg  | Cnk Cd  |
| 1   | Tambang Pasir & Emas   | 0,00030         | 0,0005 | 0,00032 | 0,00053 |
| 2   | Pemukiman              |                 |        |         |         |
| 3   | PDAM                   |                 |        |         |         |
| 4   | PLTU                   |                 |        |         |         |
| 5   | Bekas Tambang Batubara |                 |        |         |         |

Sumber: Analisa Penulis (2025)

Berdasarkan tabel 4.16, dapat melihat analisis terkait nilai  $C_{nk}$  aman untuk beberapa lokasi. Tabel ini membandingkan nilai RfD dengan nilai konsentrasi yang diukur  $C_{nk}$  untuk dua jenis logam berat, yaitu Hg dan Cd. Pada baris ketiga, yang mewakili lokasi PDAM, terdapat data numerik yang menunjukkan perbandingan. Nilai RfD untuk Hg adalah 0,00030, sedangkan nilai Cnk Hg yang terukur adalah 0,00032. Untuk Cd, nilai RfDnya adalah 0,0005, dan nilai Cnk Cd yang terukur adalah 0,00053. Secara umum, nilai  $C_{nk}$  yang lebih tinggi dari nilai RfD menunjukkan adanya potensi risiko, karena konsentrasi zat yang terukur melebihi batas yang dianggap aman. Konsentrasi melebihi batas aman perlu memperhitungkan laju konsumsi agar tetap aman jika di konsumsi.

## 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 Hg dan Cd, dengan mempertimbangkan dosis aman yang tidak menimbulkan efek kesehatan negatif. Untuk risiko non-karsinogenik, jumlah konsumsi aman dihitung dengan rumus yang mengacu pada nilai (RfD), (Wb), dan (tavg). Perhitungan jumlah konsumsi aman ini sangat penting untuk memastikan bahwa paparan terhadap logam berat dari konsumsi ikan yang terkontaminasi tetap berada pada tingkat yang tidak menimbulkan risiko kesehatan yang signifikan. Untuk nilai  $R_{nk}$  dari Hg dan Cd menunjukkan seberapa banyak jumlah konsumsi aman ikan masai. Tabel nilai konsumsi aman ( $R_{nk}$ ). Hasil perhitungan nilai  $R_{nk}$  ikan masai dapat dilihat pada **Tabel 4.22**

**Tabel 4.22 Nilai  $R_{nk}$  Aman pada Ikan Masai (g)**

| No. | Lokasi                 | Kepala dan Daging |          | Semua Bagian |         |
|-----|------------------------|-------------------|----------|--------------|---------|
|     |                        | Hg                | Cd       | Hg           | Cd      |
| 1   | Tambang Pasir & Emas   | 427,684           | 785,714  | 149,584      | 378,013 |
| 2   | Pemukiman              | 119,771           | 242,491  | 27,028       | 52,903  |
| 3   | PDAM                   | 228,515           | 1274,603 | 90,027       | 300,929 |
| 4   | PLTU                   | 134,993           | 230,597  | 43,703       | 64,177  |
| 5   | Bekas Tambang Batubara | 959,506           | 339,391  | 471,429      | 162,638 |

Sumber: Analisa Penulis (2025)

Berdasarkan diatas nilai  $R_{nk}$  aman pada ikan masai, yang menunjukkan laju konsumsi aman harian  $R_{nk}$  untuk Hg dan Cd, dapat disimpulkan bahwa batas konsumsi aman sangat bervariasi tergantung pada lokasi penangkapan ikan dan bagian ikan yang dikonsumsi. Secara umum, laju konsumsi aman tertinggi didapatkan dari ikan yang ditangkap di area Bekas Tambang Batubara untuk Hg pada konsumsi kepala dan daging 959,506 g/hari, dan di area PDAM untuk Cd pada konsumsi kepala dan daging 1274,603 g/hari. Sebaliknya, laju konsumsi aman terendah ditemukan di area dengan tingkat pencemaran tertinggi. Untuk konsumen yang memakan seluruh bagian ikan masai, laju konsumsi aman harian untuk merkuri di area Pemukiman hanya 27,028 g/hari, dan di area PLTU hanya 43,703 g/hari. Sementara itu, untuk Hg, laju konsumsi aman di area Pemukiman adalah 52,903 g/hari dan di area PLTU adalah 64,177 g/hari. Nilai yang sangat rendah ini

menunjukkan bahwa ikan dari lokasi Pemukiman dan PLTU memiliki risiko kesehatan yang signifikan, terutama jika seluruh bagian ikan dikonsumsi.

#### 4.7.5.2 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 Hg dan Cd, yang terdapat dalam ikan masai. 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 4.23** Berikut:

| <b>Tabel 4.23 Alternatif Pendekatan Pengelolaan Risiko</b> |  |
|--|--|
| <b>Alternatif Pendekatan</b>                               | <b>Pengelolaan Risiko</b>  |
| <b>Teknologi</b>   | Perendaman ikan <i>masai</i> menggunakan Filtrat Tomat dapat menurunkan konsentrasi Merkuri (Hg) pada ikan (Azmi & Winarsi, 2021). Serta Perendaman ikan <i>masai</i> menggunakan larutan kitosan dapat menurunkan konsentrasi Kadmium (Cd) pada ikan (Murtini Dkk, 2004). |
| <b>Sosial-Ekonomi</b>                                      | Mengadakan sosialisasi terhadap bahaya mengonsumsi ikan masai dikarenakan telah terpapar pajanaan Hg dan Cd kepada masyarakat.   |
| <b>Institusional</b>                                       | Melakukan pengujian secara berkala oleh Dinas Kesehatan Sawahlunto terhadap ikan masai yang dijual di pasar Talawi 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 Hg dan Cd pada ikan masai. Komunikasi risiko yang dapat diterapkan kepada masyarakat sesuai permasalahan pada penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 4.24**.

**Tabel 4.24 Alternatif Komunikasi Risiko**

| Komunikasi Risiko                             | Alternatif Pendekatan   |
|---|---|
| Dinas Pangan Kota Sawahlunto                  | Melakukan pengawasan keamanan pangan secara berkala dan pengawasan mutu pangan.   |
| Penjual Ikan masai di pasar Talawi Sawahlunto | Melakukan proses pemilihan sumber pemasok ikan dan melakukan survei mengenai kualitas ikan  |
| Konsumen Ikan masai                           | Sosialisasi terkait efek yang dapat ditimbulkan akibat adanya paparan Hg dan Cd dalam tubuh manusia yang mungkin masuk melalui konsumsi ikan masai yang mengandung paparan Hg dan Cd. |



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

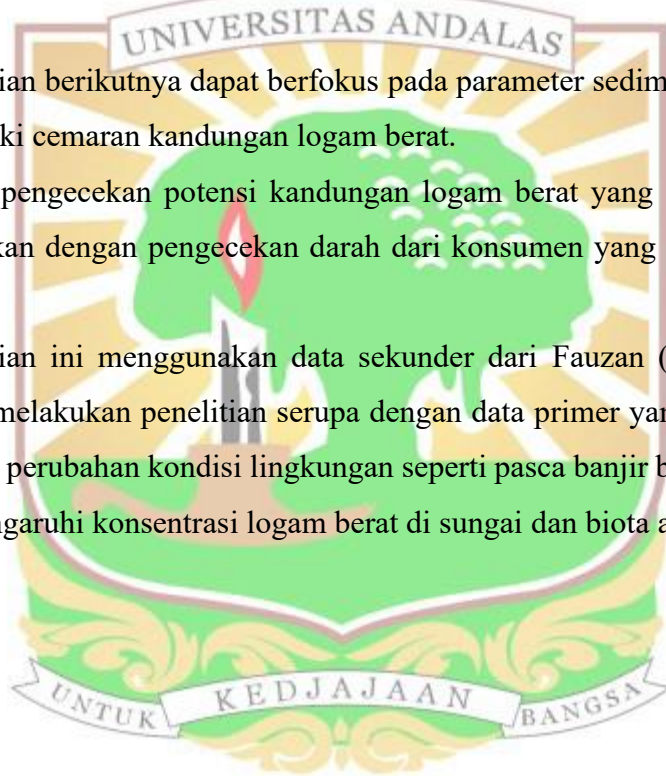
Kesimpulan yang dapat dirangkum dari penelitian yang dilakukan yaitu sebagai berikut:

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 5,37 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 Hg dan Cd terhadap konsumen ikan masai di Sawahlunto. Konsumsi seluruh bagian ikan dari lokasi Pemukiman nilai (*Risk Quotient*) RQ Hg yaitu, 2,00, dan Cd 1,02 dan pada lokasi PLTU untuk logam Hg dengan nilai RQ yaitu 1,24, menunjukkan berisiko terhadap kesehatan. Namun, berdasarkan data konsumsi *real* di lapangan, semua tingkat risiko pajanan Hg dan Cd dinyatakan aman.
3. Tingkat pencemaran *Nilai Metal Pollution Index* (MPI) tertinggi ditemukan di lokasi Pemukiman 0,4 dan PLTU 0,3, Angka ini mengindikasikan bahwa ikan masai dari area tersebut mengalami tingkat pencemaran logam berat Hg dan Cd yang paling signifikan dibandingkan dengan lokasi lainnya.
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 dengan nilai rata-rata 483,241 gram/hari.
5. Pengendalian risiko akibat konsumsi ikan Masai yang tercemar logam berat dapat ditempuh melalui tiga strategi. Dari sisi teknologi, dapat dilakukan perendaman ikan menggunakan filtrat tomat maupun larutan kitosan untuk menurunkan kadar Hg dan Cd. Dari aspek sosial-ekonomi, upaya difokuskan pada penyuluhan kepada masyarakat mengenai bahaya logam berat pada ikan. Sedangkan dari aspek kelembagaan, hal ini mencakup pelaksanaan uji rutin oleh Dinas Kesehatan Kota Sawahlunto guna menjamin keamanan ikan yang beredar di pasaran.

## 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

- Alik, O., Joseph, W. B. ., & Maddusa, S. S. (2022). Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Logam Berat Merkuri (HG) pada Masyarakat Sekitar Sungai yang Mengonsumsi Ikan Nilem (*Ostoechillus Vittatus*) dari. *Jurnal KESMAS*, 11(2), 165–172.
- Djoharam, V., Riani, E., & Yani, M. (2018). Analisis Kualitas Air Dan Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Pesanggrahan Di Wilayah Provinsi Dki Jakarta. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 8(1), 127–133. <https://doi.org/10.29244/jpsl.8.1.127-133>
- Dueñas-Moreno, J., Mora, A., Narvaez-Montoya, C., & Mahlknecht, J. (2024). Trace elements and heavy metal(loid)s triggering ecological risks in a heavily polluted river-reservoir system of central Mexico: Probabilistic approaches. *Environmental Research*, 262(June). <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119937>
- Eldrin, N. E. H., Puryanti, D., & Budiman, A. (2019). Identifikasi Kandungan Timbal (Pb), Tembaga (Cu) dan Kadmium (Cd) pada Air Sungai Malakutan Kota Sawahlunto. *Jurnal Fisika Unand*, 8(1), 41–45. <https://doi.org/10.25077/jfu.8.1.41-45.2019>
- Fauzan, A. (2024). BIOMONITORING LOGAM BERAT (As, Pb, Hg dan Cd) PADA IKAN MASAI (*Mystacoleucus marginatus*) DAN AIR DI SUNGAI BATANG OMBILIN SAWAHLUNTO. *BIOMONITORING LOGAM BERAT (As, Pb, Hg Dan Cd) PADA IKAN MASAI (Mystacoleucus Marginatus) DAN AIR DI SUNGAI BATANG OMBILIN SAWAHLUNTO*, 15(1), 37–48.
- 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*.
- Jui, M., Miah, S., Islam, H., & Sarwar, I. (2025). Microplastic pollution in the water and sediment of the Karnaphuli River , Bangladesh : An ecological risk

assessment. *Marine Pollution Bulletin*, 216(April), 117948.  
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.117948>

Naija, A., & Yalcin, H. C. (2023). Evaluation of cadmium and mercury on cardiovascular and neurological systems: Effects on humans and fish. *Toxicology Reports*, 10(January), 498–508.  
<https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2023.04.009>

PP RI. (2001). Presiden Republik Indonesia Peraturan Presiden Republik Indonesia. *Demographic Research*, 1–19.

Putri, D., & Afdal, A. (2017). Identifikasi Pencemaran Logam Berat dan Hubungannya dengan Suseptibilitas Magnetik pada Sedimen Sungai Batang Ombilin Kota Sawahlunto. *Jurnal Fisika Unand*, 6(4), 341–347.  
<https://doi.org/10.25077/jfu.6.4.341-347.2017>

Rahadian, A., & Riani, E. (2018). PENCEMARAN Cd PADA EKOSISTEM PERAIRAN TAWAR DAN MEKANISME GANGGUANNYA PADA HEWAN AIR: SEBUAH TINJAUAN Cd Pollution in Fresh Water Ecosystem and Disturbance Mechanism to Aquatic Animals Organ: A Review. *Researchgate.Net*, (May 2018), 1–10. Retrieved from [https://www.researchgate.net/profile/Aswin-Rahadian-2/publication/331686673\\_PENCEMARAN\\_Cd\\_PADA\\_EKOSISTEM\\_PERAIRAN\\_TAWAR\\_DAN\\_MEKANISME\\_GANGGUANNYA\\_PADA\\_HEWAN\\_AIR\\_SEBUAH\\_TINJAUAN\\_Cd\\_Pollution\\_in\\_Fresh\\_Water\\_Ecosystem\\_and\\_Disturbance\\_Mechanism\\_to\\_Aquatic\\_Ani](https://www.researchgate.net/profile/Aswin-Rahadian-2/publication/331686673_PENCEMARAN_Cd_PADA_EKOSISTEM_PERAIRAN_TAWAR_DAN_MEKANISME_GANGGUANNYA_PADA_HEWAN_AIR_SEBUAH_TINJAUAN_Cd_Pollution_in_Fresh_Water_Ecosystem_and_Disturbance_Mechanism_to_Aquatic_Ani)

Sariningtyas, A. P. (2020). ANALISIS KANDUNGAN LOGAM BERAT TIMBAL (Pb) DAN KADMIUM (Cd) PADA AIR PERMUKAAN DI LINGKUNGAN SEKITAR TEMPAT PEMROSESAN AKHIR (TPA) PIYUNGAN, KABUPATEN BANTUL. *Jurnal Ekonomi Volume 18, Nomor 1 Maret 201*, 2(1), 41–49.

Sembiring, A. E., Mananoma, T., Halim, F., & Wuisan, E. M. (2016). Analisis Sedimentasi di Muara Sungai Panasen. *Jurnal Sipil Statik*, 2(3), 148–154.



Shen, M., Zhang, Y., Zhan, R., Du, T., Shen, P., Lu, X., ... Shen, X. (2025). Predicting the risk of cardiovascular disease in adults exposed to heavy metals: Interpretable machine learning. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 290(December 2024), 117570. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.117570>

USEPA, 2000. (2000). The exposure scenarios used in the RBC table are appropriate for the sue ;

Usman, R. A. (2021). “ Analisis Kandungan Logam Merkuri Di Perairan .” *Besi Dalam Air Sumur: Studi Kasus Di Kelurahan Dulalowo Dan Heledulaa*, (October).

WHO. (2017). Guidelines for Drinking - water Quality purpose of the Guidelines for drinking-water quality. *Who*.



# LAMPIRAN

# **LAMPIRAN A**

## **KUESIONER PENELITIAN**

## KUESIONER

### **ANALISIS RISIKO KESEHATAN LINGKUNGAN PAJANAN MERKURI (HG) DAN KADMIUM (CD) TERHADAP POLA KONSUMSI IKAN MASAI (*mystacoleucus marginatus*) MASYARAKAT KOTA SAWAHLUNTO**

Assalamualaikum Wr.Wb

Perkenalkan saya Yulandra Helmi (2010947002) mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Andalas Padang yang sedang melakukan penelitian mengenai “Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Merkuri (Hg) Dan Kadmium (Cd) Terhadap Pola Konsumsi Ikan Masai (*Mystacoleucus Marginatus*) Masyarakat Kota Sawahlunto”. 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

Pewawancara

.....

.....

(Tanda tangan/ Nama  
jelas)

(Tanda tangan/ Nama  
jelas)

Pewawancara

.....

(Tanda tangan/ Nama  
jelas)



I. Data umum :

- a. Tanggal :
- b. Alamat :
- c. Nama :
- d. Umur :
- e. Pekerjaan :
- f. Jenis Kelamin
  - 1. Laki-laki
  - 2. Perempuan
- g. 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 mengonsumsi ikan masai : ..... tahun
- c. Frekuensi Konsumsi (fE)

|                        | Satu hari<br>(kali) | Satu minggu<br>(kali) | Satu bulan<br>(kali) | Satu Hari<br>(gr)<br>(R) |
|------------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------|
| Konsumsi<br>ikan masai |                     |                       |                      |                          |

IV. Kuesioner untuk konsumen ikan masai

| No. | Daftar Pertanyaan  |
|-----|--|
| 1.  | Seberapa sering Anda mengonsumsi ikan masai dalam sebulan? <ul style="list-style-type: none"><li>a. Sangat jarang (kurang dari sekali sebulan)</li><li>b. Jarang (sekali atau dua kali sebulan)</li><li>c. Kadang-kadang (3-4 kali sebulan)</li><li>d. Sering (lebih dari 4 kali sebulan)</li><li>e. Sangat sering (setiap minggu)</li></ul> |
| 2.  | Bagian mana dari ikan masai yang biasa Anda konsumsi? <ul style="list-style-type: none"><li>a. Daging</li></ul>  |

|    |  |
|----|--|
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>b. Kepala</li> <li>c. Isi perut</li> <li>d. Semua bagian</li> </ul>   |
| 3. | <p>Di mana Anda biasanya membeli ikan masai?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Pasar tradisional</li> <li>b. Supermarket</li> <li>c. Langsung dari nelayan</li> <li>d. Warung atau pedagang kaki lima</li> <li>e. Lainnya: _____</li> </ul>  |
| 4. | <p>Apakah Anda mengetahui asal-usul ikan masai yang Anda konsumsi?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Tidak tahu sama sekali</li> <li>b. Tahu sedikit</li> <li>c. Tahu, tapi tidak pasti</li> <li>d. Tahu dengan jelas</li> <li>e. Sangat tahu dan percaya pada sumbernya</li> </ul>                        |
| 5. | <p>Seberapa banyak ikan masai yang Anda konsumsi dalam sehari?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Kurang dari 50 gram</li> <li>b. 50 - 100 gram</li> <li>c. 100 - 150 gram</li> <li>d. 150 - 200 gram</li> <li>e. Lebih dari 200 gram</li> </ul>  |
| 6. | <p>Apakah Anda mengetahui bahwa ikan dapat terkontaminasi dengan logam berat seperti Merkuri (Hg) atau Kadmium (Cd)??</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Sangat tahu</li> <li>b. Tahu dengan baik</li> <li>c. Tahu Sedikit</li> <li>d. Tahu Tapi Tidak Peduli</li> <li>e. Tidak tahu sama sekali</li> </ul> |
| 7. | <p>Jika Anda tahu, apakah Anda pernah mendengar tentang dampak kesehatan dari konsumsi ikan yang terkontaminasi Merkuri (Hg) atau Kadmium (Cd)??</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Sangat tahu</li> <li>b. Tahu dengan baik</li> <li>c. Tahu Sedikit</li> </ul>  |

|    |  |
|----|--|
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>d. Tahu Tapi Tidak Peduli</li> <li>e. Tidak tahu sama sekali</li> </ul>   |
| 8. | <p>Apakah Anda pernah mendengar atau membaca tentang kontaminasi logam berat di Sungai Batang Ombilin yang dapat mempengaruhi ikan masai?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Sangat tahu</li> <li>b. Tahu dengan baik</li> <li>c. Tahu Sedikit</li> <li>d. Tahu Tapi Tidak Peduli</li> <li>e. Tidak tahu sama sekali</li> </ul> |
| 9. | <p>Sejauh mana Anda mengetahui tentang dampak logam berat pada ikan yang dikonsumsi?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Sangat tahu</li> <li>b. Tahu dengan baik</li> <li>c. Tahu Sedikit</li> <li>d. Tahu Tapi Tidak Peduli</li> <li>e. Tidak tahu sama sekali</li> </ul>  |

# **LAMPIRAN B**

## **UJI VALIDITAS DAN RELIABILITAS KUESIONER**



## Lampiran B.1 Hasil Uji Validitas Kuesioner

| Correlations  |                     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|---|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|   |                     | K01    | K02    | K03    | K04    | K05    | K06    | K07    | K08    | K09    | TOTAL  |
| K01   | Pearson Correlation | 1      | .025   | -.019  | -.118  | .141   | .294   | .328   | .323   | .314   | .538** |
|   | Sig. (2-tailed)     |        | .896   | .922   | .536   | .456   | .115   | .077   | .082   | .091   | .002   |
|   | N                   | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     |
| K02   | Pearson Correlation | .025   | 1      | .095   | .347   | .492** | .398*  | .060   | -.189  | .026   | .537** |
|   | Sig. (2-tailed)     | .896   |        | .617   | .060   | .006   | .029   | .754   | .318   | .892   | .002   |
|   | N                   | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     |
| K03   | Pearson Correlation | -.019  | .095   | 1      | .468** | .026   | .080   | .188   | .076   | -.054  | .385*  |
|   | Sig. (2-tailed)     | .922   | .617   |        | .009   | .893   | .673   | .319   | .689   | .776   | .036   |
|   | N                   | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     |
| K04   | Pearson Correlation | -.118  | .347   | .468** | 1      | .108   | .143   | -.031  | .008   | -.094  | .390*  |
|   | Sig. (2-tailed)     | .536   | .060   | .009   |        | .569   | .452   | .871   | .969   | .623   | .033   |
|   | N                   | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     |
| K05   | Pearson Correlation | .141   | .492** | .026   | .108   | 1      | .263   | .418*  | -.291  | -.097  | .458*  |
|   | Sig. (2-tailed)     | .456   | .006   | .893   | .569   |        | .160   | .022   | .119   | .610   | .011   |
|   | N                   | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     |
| K06   | Pearson Correlation | .294   | .398*  | .080   | .143   | .263   | 1      | .303   | .313   | .305   | .680** |
|   | Sig. (2-tailed)     | .115   | .029   | .673   | .452   | .160   |        | .103   | .092   | .101   | .000   |
|   | N                   | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     |
| K07   | Pearson Correlation | .328   | .060   | .188   | -.031  | .418*  | .303   | 1      | .216   | .204   | .594** |
|   | Sig. (2-tailed)     | .077   | .754   | .319   | .871   | .022   | .103   |        | .253   | .279   | .001   |
|   | N                   | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     |
| K08   | Pearson Correlation | .323   | -.189  | .076   | .008   | -.291  | .313   | .216   | 1      | .486** | .437*  |
|   | Sig. (2-tailed)     | .082   | .318   | .689   | .969   | .119   | .092   | .253   |        | .006   | .016   |
|   | N                   | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     |
| K09   | Pearson Correlation | .314   | .026   | -.054  | -.094  | -.097  | .305   | .204   | .486** | 1      | .449*  |
|   | Sig. (2-tailed)     | .091   | .892   | .776   | .623   | .610   | .101   | .279   | .006   |        | .013   |
|   | N                   | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     |
| TOTAL   | Pearson Correlation | .538** | .537** | .385*  | .390*  | .458*  | .680** | .594** | .437*  | .449*  | 1      |
|   | Sig. (2-tailed)     | .002   | .002   | .036   | .033   | .011   | .000   | .001   | .016   | .013   |        |
|   | N                   | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     | 30     |
| ** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).<br>* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed). |                     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |

## Lampiran B.2 Hasil Uji Validitas Kuesioner

### Scale: ALL VARIABLES

#### Case Processing Summary

|       |                       | N  | %     |
|-------|-----------------------|----|-------|
| Cases | Valid                 | 30 | 100.0 |
|       | Excluded <sup>a</sup> | 0  | .0    |
|       | Total                 | 30 | 100.0 |

a. Listwise deletion based on all variables in the procedure.

#### Reliability Statistics

| Cronbach's Alpha | N of Items |
|------------------|------------|
| .606             | 9          |

### 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                 |

**Data Karakteristik Responden**

| No | Nama   | Umur | Jenis Kelamin | Pekerjaan | Pendidikan | Berat badan | Berat badan fix | Status Perkawinan |
|----|--------|------|---------------|-----------|------------|-------------|-----------------|-------------------|
| 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                 |
| 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                 |

---

**Data Karakteristik Responden**

| No | Nama    | Umur | Jenis Kelamin | Pekerjaan | Pendidikan | Berat badan | Berat badan fix | Status Perkawinan |
|----|---------|------|---------------|-----------|------------|-------------|-----------------|-------------------|
| 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                 |
| 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                 |



---

**Data Karakteristik Responden**

| No | Nama    | Umur | Jenis Kelamin | Pekerjaan | Pendidikan | Berat badan | Berat badan fix | Status Perkawinan |
|----|---------|------|---------------|-----------|------------|-------------|-----------------|-------------------|
| 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                 |
| 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                 |

---

**Data Karakteristik Responden**

| No  | Nama    | Umur | Jenis Kelamin | Pekerjaan | Pendidikan | Berat badan | Berat badan fix | Status Perkawinan |
|-----|---------|------|---------------|-----------|------------|-------------|-----------------|-------------------|
| 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

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

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

$$\text{MPI} = 0,05=0,1$$

### Lampiran C.4 Hasil Perhitungan ARKL 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 |
| Hg                           | 0,040       | 0,054       | 350           | 30       | 22,8    | 55 | 10950      | 602250  | 0,00004 | 0,0003 | 0,126    | < 1          |
| Cd                           | 0,037       | 0,054       | 350           | 30       | 20,7    | 55 | 10950      | 602250  | 0,00003 | 0,0005 | 0,069    | < 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 |
| Hg                           | 0,144       | 0,054       | 350           | 30       | 81,5    | 55 | 10950      | 602250  | 0,00014 | 0,0003 | 0,451    | < 1          |
| Cd                           | 0,118       | 0,054       | 350           | 30       | 67,1    | 55 | 10950      | 602250  | 0,00011 | 0,0005 | 0,223    | < 1          |
| PDAM                         |             |             |               |          |         |    |            |         |         |        |          |              |
|                              | PDAM        | R gram/hari | Fe hari/tahun | Dt tahun | Hasil 1 | Wb | t avg hari | Hasil 2 | Intake  | Rfd    | Hasil RQ |              |
| Hg                           | 0,075       | 0,054       | 350           | 30       | 42,7    | 55 | 10950      | 602250  | 0,00007 | 0,0003 | 0,236    | < 1          |
| Cd                           | 0,023       | 0,054       | 350           | 30       | 12,8    | 55 | 10950      | 602250  | 0,00002 | 0,0005 | 0,042    | < 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 |
| Hg                           | 0,127       | 0,054       | 350           | 30       | 72,3    | 55 | 10950      | 602250  | 0,00012 | 0,0003 | 0,400    | < 1          |
| Cd                           | 0,124       | 0,054       | 350           | 30       | 70,5    | 55 | 10950      | 602250  | 0,00012 | 0,0005 | 0,234    | < 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 |
| Hg                           | 0,018       | 0,054       | 350           | 30       | 10,2    | 55 | 10950      | 602250  | 0,00002 | 0,0003 | 0,056    | < 1          |
| Cd                           | 0,085       | 0,054       | 350           | 30       | 47,9    | 55 | 10950      | 602250  | 0,00008 | 0,0005 | 0,159    | < 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 |
| Hg                      | 0,115       | 0,054       | 350           | 30       | 65,2    | 55 | 10950      | 602250  | 0,00011 | 0,0003 | 0,361    | < 1          |
| Cd                      | 0,076       | 0,054       | 350           | 30       | 43,0    | 55 | 10950      | 602250  | 0,00007 | 0,0005 | 0,143    | < 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 |
| Hg                      | 0,637       | 0,054       | 350           | 30       | 361,0   | 55 | 10950      | 602250  | 0,00060 | 0,0003 | 1,998    | >1           |
| Cd                      | 0,542       | 0,054       | 350           | 30       | 307,4   | 55 | 10950      | 602250  | 0,00051 | 0,0005 | 1,021    | >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 |
| Hg                      | 0,191       | 0,054       | 350           | 30       | 108,4   | 55 | 10950      | 602250  | 0,00018 | 0,0003 | 0,600    | < 1          |
| Cd                      | 0,095       | 0,054       | 350           | 30       | 54,0    | 55 | 10950      | 602250  | 0,00009 | 0,0005 | 0,179    | < 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 |
| Hg                      | 0,394       | 0,054       | 350           | 30       | 223,2   | 55 | 10950      | 602250  | 0,00037 | 0,0003 | 1,236    | >1           |
| Cd                      | 0,447       | 0,054       | 350           | 30       | 253,4   | 55 | 10950      | 602250  | 0,00042 | 0,0005 | 0,841    | < 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 |
| Hg                      | 0,037       | 0,054       | 350           | 30       | 20,7    | 55 | 10950      | 602250  | 0,00003 | 0,0003 | 0,115    | < 1          |
| Cd                      | 0,176       | 0,054       | 350           | 30       | 100,0   | 55 | 10950      | 602250  | 0,00017 | 0,0005 | 0,332    | < 1          |

### Lampiran C.5 Hasil Perhitungan ARKL dengan data real tiap Lokasi

| Tambang dan emas              |             |             |               |          |         |        |            |          |          |        |          |              |
|-------------------------------|-------------|-------------|---------------|----------|---------|--------|------------|----------|----------|--------|----------|--------------|
| Untuk Daging dan Kepalas Saja |             |             |               |          |         |        |            |          |          |        |          |              |
| Logam                         | Konsentrasi | R gram/hari | Fe hari/tahun | Dt tahun | Hasil 1 | Wb     | t avg hari | Hasil 2  | Intake   | Rfd    | Hasil RQ | Interpretasi |
| Hg                            | 0,040       | 0,005362    | 350           | 30       | 2,3     | 65,599 | 10950      | 718309,1 | 0,000003 | 0,0003 | 0,011    | < 1          |
| Cd                            | 0,037       | 0,005362    | 350           | 30       | 2,1     | 65,599 | 10950      | 718309,1 | 0,000000 | 0,0005 | 0,006    | < 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 |
| Hg                            | 0,144       | 0,005362    | 350           | 30       | 8,1     | 65,599 | 10950      | 718309,1 | 0,000001 | 0,0003 | 0,038    | < 1          |
| Cd                            | 0,118       | 0,005362    | 350           | 30       | 6,7     | 65,599 | 10950      | 718309,1 | 0,000001 | 0,0005 | 0,019    | < 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 |
| Hg                            | 0,075       | 0,005362    | 350           | 30       | 4,2     | 65,599 | 10950      | 718309,1 | 0,000001 | 0,0003 | 0,020    | < 1          |
| Cd                            | 0,023       | 0,005362    | 350           | 30       | 1,3     | 65,599 | 10950      | 718309,1 | 0,000000 | 0,0005 | 0,004    | < 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 |
| Hg                            | 0,127       | 0,005362    | 350           | 30       | 7,2     | 65,599 | 10950      | 718309,1 | 0,000001 | 0,0003 | 0,033    | < 1          |
| Cd                            | 0,124       | 0,005362    | 350           | 30       | 7,0     | 65,599 | 10950      | 718309,1 | 0,000001 | 0,0005 | 0,019    | < 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 |
| Hg                            | 0,018       | 0,005362    | 350           | 30       | 1,0     | 65,599 | 10950      | 718309,1 | 0,000000 | 0,0003 | 0,005    | < 1          |
| Cd                            | 0,085       | 0,005362    | 350           | 30       | 4,8     | 65,599 | 10950      | 718309,1 | 0,000001 | 0,0005 | 0,013    | < 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 |
| Hg                      | 0,115       | 0,005362    | 350           | 30       | 6,5     | 65,599 | 10950      | 718309,1 | 0,00001 | 0,0003 | 0,030    | < 1          |
| Cd                      | 0,076       | 0,005362    | 350           | 30       | 4,3     | 65,599 | 10950      | 718309,1 | 0,00001 | 0,0005 | 0,012    | < 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 |
| Hg                      | 0,637       | 0,005362    | 350           | 30       | 35,8    | 65,599 | 10950      | 718309,1 | 0,00005 | 0,0003 | 0,166    | <1           |
| Cd                      | 0,542       | 0,005362    | 350           | 30       | 30,5    | 65,599 | 10950      | 718309,1 | 0,00004 | 0,0005 | 0,085    | <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 |
| Hg                      | 0,191       | 0,005362    | 350           | 30       | 10,8    | 65,599 | 10950      | 718309,1 | 0,00001 | 0,0003 | 0,050    | < 1          |
| Cd                      | 0,095       | 0,005362    | 350           | 30       | 5,4     | 65,599 | 10950      | 718309,1 | 0,00001 | 0,0005 | 0,015    | < 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 |
| Hg                      | 0,394       | 0,005362    | 350           | 30       | 22,2    | 65,599 | 10950      | 718309,1 | 0,00003 | 0,0003 | 0,103    | <1           |
| Cd                      | 0,447       | 0,005362    | 350           | 30       | 25,2    | 65,599 | 10950      | 718309,1 | 0,00004 | 0,0005 | 0,070    | < 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 |
| Hg                      | 0,037       | 0,005362    | 350           | 30       | 2,1     | 65,599 | 10950      | 718309,1 | 0,00000 | 0,0003 | 0,010    | < 1          |
| Cd                      | 0,176       | 0,005362    | 350           | 30       | 9,9     | 65,599 | 10950      | 718309,1 | 0,00001 | 0,0005 | 0,028    | < 1          |

# **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 <a href="http://www.epa.gov/iris">www.epa.gov/iris</a> ..... | 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***

| <b>VARIABEL</b>                | <b><i>Desktop;</i></b>                           | <b><i>field</i></b>  |
|--------------------------------|--|--|
| 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**

| <b>Jenis Kegiatan / Kebutuhan</b>   | <b>‘desktop’ ARKL</b> | <b>Kajian ARKL</b> |
|---|-----------------------|--------------------|
| 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. <b>Contoh: Merkuri (Hg) jelaskan apakah agen risiko berupa elemental mercury, anorganic mercury, atau organic mercury (methyl mercury).</b><br>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. <b>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).</b> |

| 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 :<br>..... mg/l | – Merkuri Anorganik :<br>..... mg/l | – Merkuri Anorganik :<br>..... mg/l |
|   |                               |   | – Total Merkuri :<br>..... mg/l     | – Total Merkuri :<br>..... mg/l     | – Total Merkuri :<br>..... 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)     | bekas                         | Metil Merkuri                                   | Disesuaikan dengan agen risikonya   | Disesuaikan dengan agen risikonya   | Disesuaikan dengan agen risikonya   |
|   |                               | • Udara   |                                     |                                     |                                     |
| Pengolahan aki                                  |                               |   | SO <sub>2</sub> , Benz              | • Air tanah                         | Gas, Gas, Gas                       |



| 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](http://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](http://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<sup>3</sup>) udara, disingkat mg/M<sup>3</sup>. 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<br>( <i>RfD</i> , <i>SF</i> ) | Agent                                 | Dosis Respon                                       | Efek Kristis dan Referensi  |
|----------------------------------|---------------------------------------|--|---|
| 1                                | As (Arsen)                            | 3E-4 mg/kg/day<br>1,5E+0 (mg/kg/day) <sup>-1</sup> | 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 <sub>2</sub> (Klorin) bebas        | 1E-1 mg/kg/day                                     | Pajanan kronik air minum tikus (NTP, 1992)  |
| 6                                | Cr <sup>6+</sup> (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 <sup>-</sup> (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 <sup>-</sup> (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 <sub>2</sub> <sup>-</sup> (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 <sub>3</sub>    | 2E-2 mg/kg/day<br>7.9E-3 (mg/kg/day)-1 | Lesi hepatik uji hayati subkronik gavage oral pada tikus  |
| 15 | CHCl <sub>3</sub>    | 1E-2 mg/kg/day                         | Pembentukan greasety cyst sedang/nyata pada hati dan  |
| 16 | CHBr <sub>2</sub> Cl | 2E-2 mg/kg/day                         | Lesi hepatik 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 <sub>3</sub>  | 2,86E-2      | Kenaikan keparahan rinitis dan pneumonia dengan lesi pernafasan pada uji hayati tikus subkronik (Broderon et al 1976) |
| 2   | H <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub>  | 2E-2         | Gangguan saluran pernafasan (EPA/NAAQS 1990)  |
| 5   | SO <sub>2</sub>  | 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](http://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<br><br>Human epidemiological studies (Grandjean et al., 1997; Budtz-Jørgensen et al., 1999a) | Benchmark Dose: BMDL <sub>05</sub> 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<br><br>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 <sup>3</sup>   | Tidak ada nilai default   |
| $R$ (Rate)          | : Laju inhalasi atau banyaknya volume udara yang masuk setiap jamnya  | m <sup>3</sup> /jam | Dewasa : 0,83 m <sup>3</sup> /jam<br>Anak - anak (6 - 12 tahun) : 0,5 m <sup>3</sup> /jam |



|  |   |            |   |
|--|---|------------|---|
| $t_E$ ( <i>time of exposure</i> )      | : Lamanya atau jumlah jam terjadinya pajanan setiap harinya   | Jam/hari   | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Pajanan pada pemukiman : 24 jam/hari</li> <li>– Pajanan pada lingkungan kerja : 8 jam/hari</li> <li>– Pajanan pada sekolah dasar : 6 jam/hari</li> </ul> |
| $f_E$ ( <i>frequency of exposure</i> ) | : Lamanya atau jumlah hari terjadinya pajanan setiap tahunnya | Hari/tahun | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Pajanan pada pemukiman : 350 hari/tahun</li> <li>– Pajanan pada lingkungan kerja : 250 hari/tahun</li> </ul>   |
| $D_t$ ( <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         | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Dewasa asia / Indonesia : 55 Kg</li> <li>– Anak - anak : 15 Kg</li> </ul>  |
| $t_{avg(nk)}$ ( <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)

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

| <b>Keterangan</b> | <b>Notasi</b>                          | <b>Arti notasi</b>  | <b>Satuan</b>   | <b>Nilai Default</b>  |
|-------------------|--|---|---|---|
|                   | $I_{nk}$ ( <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.  | <ul style="list-style-type: none"> <li>– mg/l (air)</li> <li>– mg/kg (makanan)</li> </ul>           | Tidak ada nilai default   |
|                   | $R$ ( <i>Rate</i> )                    | : Laju konsumsi atau banyaknya volume air atau jumlah berat makanan yang masuk setiap jamnya                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>– liter/hari (air)</li> <li>– gram/hari (makanan)</li> </ul> | <b>Air Minum</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Dewasa (pemukiman) : 2 liter/hari</li> <li>– Anak - anak (pemukiman) : 1 liter/hari</li> <li>– Dewasa (lingkungan kerja) : 1 liter/hari</li> </ul> <b>Makanan</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Buah - buahan : 42 gram/hari</li> <li>– Sayuran : 80 gram/hari</li> <li>– Ikan tangkapan : 54 gram/hari</li> </ul> |
|                   | $f_E$ ( <i>frequency of exposure</i> ) | : Lamanya atau jumlah hari terjadinya pajanan setiap tahunnya   | Hari/tahun  | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Pajanan pada pemukiman : 350 hari/tahun</li> <li>– Pajanan pada lingkungan kerja : 250 hari/tahun</li> </ul>   |
|                   | $D_t$ ( <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<br>– 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 :**

| <b>Notasi</b>                          | <b>Arti notasi</b>  | <b>Satuan</b>       | <b>Nilai Default</b>  |
|--|---|---------------------|---|
| $I_k$ ( <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 <sup>3</sup>   | Tidak ada nilai default   |
| $R$ ( <i>Rate</i> )                    | : Laju inhalasi atau banyaknya volume udara yang masuk setiap jamnya  | m <sup>3</sup> /jam | Dewasa : 0,83 m <sup>3</sup> /jam<br>Anak - anak (6 - 12 tahun) : 0,5 m <sup>3</sup> /jam   |
| $t_E$ ( <i>time of exposure</i> )      | : Lamanya atau jumlah jam terjadinya pajanan setiap harinya   | Jam/hari            | – Pajanan pada pemukiman : 24 jam/hari<br>– Pajanan pada lingkungan kerja : 8 jam/hari<br>– 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<br>– 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<br>– 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**

| <b>Notasi</b> | <b>Arti notasi</b> | <b>Satuan</b> | <b>Nilai Default</b> |
|---------------|--------------------|---------------|----------------------|
|---------------|--------------------|---------------|----------------------|

**$I_k$  (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  |
|---|--|---|--|
| <b>C (Concentration)</b>                        | : Konsentrasi agen risiko pada air bersih/minum atau pada makanan.                           | – mg/l (air)<br>– mg/kg (makanan)           | Tidak ada nilai default  |
| <b>R (Rate)</b>                                 | : Laju konsumsi atau banyaknya volume air atau jumlah berat makanan yang masuk setiap jamnya | – liter/hari (air)<br>– gram/hari (makanan) | <b>Air Minum</b><br>– Dewasa (pemukiman) : 2 liter/hari<br>– Anak - anak (pemukiman) : 1 liter/hari<br>– Dewasa (lingkungan kerja) : 1 liter/hari<br><br><b>Makanan</b><br>– Buah - buahan : 42 gram/hari<br>– Sayuran : 80 gram/hari<br>– Paparan pada pemukiman : 350 hari/tahun<br>– Paparan pada Residensial (pemukiman) paparan seumur hidup : 30 tahun<br>– Dewasa asia / Indonesia : 55 Kg<br>70 tahun x 365 hari/tahun = |
| <b><math>f_E</math> (frequency of exposure)</b> | : Lamanya atau jumlah hari terjadinya paparan setiap tahunnya                                | Hari/tahun                                  |  |
| <b><math>D_t</math> (duration time)</b>         | : Lamanya atau jumlah tahun terjadinya paparan   | Tahun                                       |  |
| <b><math>W_b</math> (weight of body)</b>        | : Berat badan manusia / populasi / kelompok populasi   | Kg  |  |
| <b><math>t_{avg(k)}</math> (time average)</b>   | : 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 <sup>b</sup> |
|                                   |                       | 1 L (anak)  | 350                            | 6                      | 15                   |
|                                   | Tanah/debu (tertelan) | 100 mg (dewasa)   | 350                            | 24                     | 70 ; 55 <sup>b</sup> |
|                                   |                       | 200 mg (anak)   | 350                            | 6                      | 15                   |
|                                   | Inhalasi (terhirup)   | 20 m <sup>3</sup> (dewasa) $\approx$ 0,83 m <sup>3</sup> /jam | 350                            | 30                     | 70 ; 55 <sup>b</sup> |
|                                   |                       | 12 m <sup>3</sup> (anak) $\approx$ 0,5 m <sup>3</sup> /jam    | 350                            | 6                      | 15                   |
| Industri & komersial<br>Pertanian | Air minum             | 1 L   | 250                            | 25                     | 70 ; 55 <sup>b</sup> |
|                                   |                       |   |                                |                        |                      |
|                                   | Tanaman perkarangan   | 42 g (buah - buahan)  | 350                            | 30                     | 70 ; 55 <sup>b</sup> |
|                                   |                       | 80 g (sayur - mayur)  | 350                            | 30                     | 70 ; 55 <sup>b</sup> |
|                                   | Air minum             | 2 L (dewasa)  | 350                            | 30                     | 70 ; 55 <sup>b</sup> |
|                                   |                       | 1 L (anak)  | 350                            | 6                      | 15                   |
|                                   | Tanah/debu (tertelan) | 100 mg (dewasa)   | 350                            | 24                     | 70 ; 55 <sup>b</sup> |
|                                   |                       | 200 mg (anak)   | 350                            | 6                      | 15                   |
|                                   | Inhalasi (terhirup)   | 20 m <sup>3</sup> (dewasa) $\approx$ 0,83 m <sup>3</sup> /jam | 350                            | 30                     | 70 ; 55 <sup>b</sup> |
|                                   |                       |   |                                |                        |                      |
|                                   | Rekreasi              | ikan tangkapan  | 350                            | 30                     | 70 ; 55 <sup>b</sup> |
|                                   |                       |   |                                |                        |                      |

Disadur dari Rahman, 2007 : seluruhnya berasal dari *Exposure Factor Handbook* (EPA, 1990) kecuali <sup>b</sup>Nukman 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](http://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](http://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](http://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  $\text{mg}/\text{l}$ ’, 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](http://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  $\text{mg}/\text{l}$** ’, 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/m<sup>3</sup>** maka nilai konsentrasi yang benar – benar aman adalah di bawah 4,499 µg/m<sup>3</sup> (<4,499 µg/m<sup>3</sup>) ≈ 4,498 µg/m<sup>3</sup>.

#### 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<sup>-4</sup> dibagi nilai *SF* nya. Selain itu, variabel *t<sub>avg</sub>* 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   |
|--|---|
| $C_{(aman)}$ ( <b>Concentration</b> )                      | : Konsentrasi agen risiko pada udara ambien atau pada air bersih/minum atau pada makanan yang aman.                 |
| – <i>RfC</i> atau <b>reference concentration</b> (rumus 8) | : – Nilai kuantitatif atau konsentrasi suatu agen risiko yang dijadikan referensi untuk nilai yang aman bagi tubuh. |
| – <i>RfD</i> atau <b>reference dose</b> (rumus 9)          | – Nilai kuantitatif atau dosis suatu agen risiko yang dijadikan referensi untuk nilai yang aman bagi tubuh.         |
| – <i>SF</i> atau <b>slope factor</b>                       | – Nilai kuantitatif suatu agen risiko karsinogenik yang   |

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

|   |   |
|---|---|
| <b>R (Rate)</b>   | : Laju asupan :<br>– Volume udara yang masuk tubuh (m <sup>3</sup> ) setiap jamnya<br>– Volume air minum yang masuk tubuh (liter) setiap harinya<br>– Volume makanan yang masuk tubuh (gram) setiap harinya |
| <b>t<sub>E</sub> atau time of exposure</b><br>(rumus 8) | : Lamanya atau jumlah jam terjadinya pajanan setiap harinya   |
| <b>f<sub>E</sub> (frequency of exposure)</b>            | : Lamanya atau jumlah hari terjadinya pajanan setiap tahunnya   |
| <b>D<sub>t</sub> (duration time)</b>                    | : Lamanya atau jumlah tahun terjadinya pajanan  |
| <b>W<sub>b</sub> (weight of body)</b>                   | : Berat badan manusia / populasi / kelompok populasi  |
| <b>t<sub>avg</sub> (time average)</b>                   | : 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  |
|--|--|
| <b>R<sub>(aman)</sub></b>                    | : Laju konsumsi atau banyaknya volume makanan (gram) atau volume air (liter) yang masuk tubuh setiap harinya yang aman.  |
| – <b>RfD</b> atau <b>reference dose</b>      | : – Nilai kuantitatif atau dosis suatu agen risiko yang dijadikan referensi untuk nilai yang aman bagi tubuh.  |
| – <b>SF</b> atau <b>slope factor</b>         | : – Nilai kuantitatif suatu agen risiko karsinogenik yang dijadikan referensi untuk nilai yang aman bagi tubuh dari efek karsinogenik.   |
| <b>C (Concentration)</b>                     | : Konsentrasi agen risiko pada makanan atau air.   |
| <b>f<sub>E</sub> (frequency of exposure)</b> | : Lamanya atau jumlah hari terjadinya pajanan setiap tahunnya  |
| <b>D<sub>t</sub> (duration time)</b>         | : Lamanya atau jumlah tahun terjadinya pajanan   |
| <b>W<sub>b</sub> (weight of body)</b>        | : Berat badan manusia / populasi / kelompok populasi   |
| <b>t<sub>avg</sub> (time average)</b>        | : – Untuk agen risiko dengan efek non karsinogenik : Periode waktu rata - rata untuk efek non karsinogenik<br>– Untuk agen risiko dengan efek karsinogenik : Periode waktu rata - rata untuk efek karsinogenik |

#### c) Penentuan waktu pajanan aman (t<sub>E</sub>)

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 <b>reference dose</b>     | : – Nilai kuantitatif atau dosis suatu agen risiko yang dijadikan referensi untuk nilai yang aman bagi tubuh.  |
| – $SF$ atau <b>slope factor</b>        | : – Nilai kuantitatif suatu agen risiko karsinogenik yang dijadikan referensi untuk nilai yang aman bagi tubuh dari efek karsinogenik.   |
| $C$ ( <b>Concentration</b> )           | : Konsentrasi agen risiko pada makanan atau air.   |
| $f_E$ ( <b>frecuency of exposure</b> ) | : Lamanya atau jumlah hari terjadinya pajanan setiap tahunnya  |
| $D_t$ ( <b>duration time</b> )         | : Lamanya atau jumlah tahun terjadinya pajanan   |
| $W_b$ ( <b>weight of body</b> )        | : Berat badan manusia / populasi / kelompok populasi   |
| $t_{avg}$ ( <b>time average</b> )      | : – Untuk agen risiko dengan efek non karsinogenik : Periode waktu rata - rata untuk efek non karsinogenik<br>– 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   |
|--|---|
| $f_{E(aman)}$ ( <b>frecuency of exposure</b> ) | : Lamanya atau jumlah hari terjadinya pajanan setiap tahunnya yang aman                                     |
| $RfC$ atau <b>reference concentration</b>      | : 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<br>– 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 <b>reference concentration</b> | : 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<br>– 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-pertaan 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)*



## ORIGINALITY REPORT

24%

SIMILARITY INDEX

22%

INTERNET SOURCES

12%

PUBLICATIONS

13%

STUDENT PAPERS

## PRIMARY SOURCES

1

[scholar.unand.ac.id](https://scholar.unand.ac.id)

Internet Source

6%

2

Submitted to Universitas Andalas

Student Paper

2%

3

[www.scribd.com](https://www.scribd.com)

Internet Source

2%

4

[jfu.fmipa.unand.ac.id](https://jfu.fmipa.unand.ac.id)

Internet Source

1%

5

[repository.ub.ac.id](https://repository.ub.ac.id)

Internet Source

&lt;1%

6

Submitted to Sriwijaya University

Student Paper

&lt;1%

7

[docplayer.info](https://docplayer.info)

Internet Source

&lt;1%

8

[repository.unair.ac.id](https://repository.unair.ac.id)

Internet Source

&lt;1%

9

[repository.unhas.ac.id](https://repository.unhas.ac.id)

Internet Source

&lt;1%

10

[core.ac.uk](https://core.ac.uk)

Internet Source

&lt;1%

11

Submitted to Universitas Trunojoyo

Student Paper

&lt;1%

12

[idoc.pub](https://idoc.pub)

Internet Source

&lt;1%

13

[123dok.com](https://123dok.com)

Internet Source

&lt;1%

14

[repository.unsri.ac.id](https://repository.unsri.ac.id)

Internet Source

&lt;1%

15

[repository.its.ac.id](https://repository.its.ac.id)

Internet Source

&lt;1%