

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Plastik, yang ditemukan pada awal abad ke-20, telah mengubah banyak industri berkat kemampuannya yang fleksibel, tahan lama, dan murah untuk diproduksi (Adekanmbi et al., 2024). Plastik masuk ke lingkungan perairan dalam berbagai ukuran yaitu salah satunya mikroplastik. Mikroplastik adalah partikel plastik yang berukuran kurang dari 5 mm pada dimensi terbesarnya dan polusi mikroplastik menjadi masalah lingkungan dan sosial yang semakin parah dan bermasalah di seluruh dunia (Lee et al., 2023; Lei et al., 2017).

Mikroplastik primer adalah partikel polimer sintesis yang berukuran lebih besar dari 0,1 mm dan kurang atau sama dengan 5 mm pelet, manik-manik, *nurdle*, serat, dan bubuk plastik yang dibuat secara sintesis untuk digunakan dalam bahan dasar membuat plastik tekstil, eksfoliator dalam kosmetik, dan produk perawatan pribadi (Gamage & Mahagamage, 2024; Guerranti et al., 2019). Mikroplastik sekunder berasal dari fragmentasi makroplastik dan mesoplastik yang rusak di lingkungan dan dianggap sebagai sumber utama mikroplastik di ekosistem laut, berasal dari tempat pembuangan sampah, pantai, pelabuhan, peralatan penangkapan ikan, dan aktivitas pengiriman (Amaral-Zettler et al., 2021) (Dąbrowska et al., 2022). Kosmetik dan produk perawatan tubuh menimbulkan sebagian besar pencemaran mikroplastik, yang mencapai 1500 ton per tahun di lingkungan perairan global, atau 12.000 ton per tahun (Sun et al., 2020).

Berbagai polimer mikroplastik digunakan dalam produk kosmetik dan perawatan pribadi, seperti polipropilena (PP), selofan, polietilena (PE), poliester (PES), polietilena tereftalat (PET), polistirena (PS), poliamida (PA), dan polivinil klorida (PVC), Polivinilpirolidon (PVP) yang berperan sebagai bahan pengikat, pembentuk lapisan tipis, pengatur viskositas, bahan pemoles gigi, dan penstabil (Chaudhary et al., 2024; Chengappa S et al., 2023a). Mikroplastik dalam pasta gigi yang ditemukan di India, seperti *cellophane* (CP), *polypropylene* (PP), *polyvinyl chloride* (PVC), dan *polyamide* (PA), telah terbukti mampu berinteraksi dengan permukaan hidroksiapatit, membentuk lapisan tahan asam (Augusto et al., 2022; Madhumitha et al., 2022).

Mikroplastik dalam kosmetik terbagi menjadi termoplastik, seperti polipropilena (PP) dan polietilena (PE), serta plastik termoset, seperti poliester. Polietilena (PE) sering digunakan karena sifatnya yang ringan dan biaya produksinya yang rendah. Dalam pasta gigi, PE memberikan efek abrasif untuk membersihkan noda pada gigi (Daud & Birawida, 2022). Polietilena (PE) bukan termasuk logam berat, melainkan senyawa organik berbasis karbon yang berasal dari petrokimia. PE adalah termoplastik yang ringan, tahan lama, dan murah, sedangkan PP adalah polimer yang memiliki sifat ringan, kuat terhadap bahan kimia yang biasanya digunakan sebagai *microbeads* untuk memberikan tampilan menarik pada pasta gigi. sebagai Keduanya memiliki dampak lingkungan signifikan karena sulit terurai secara alami (Basri K et al., 2024).

Produk kosmetik dan perawatan pribadi, seperti pasta gigi sering kali mengandung bulir mikroplastik (*microbeads*) yang terbuang ke saluran pembuangan setelah digunakan. Sebagian dari mikroplastik ini tidak dapat disaring di instalasi pengolahan air limbah dan akhirnya mengalir ke sungai dan laut, menyebabkan pencemaran pada air dan sedimen. Mikroplastik tersebut dapat dikonsumsi oleh organisme laut seperti kerang, yang berpotensi menimbulkan risiko kesehatan bagi manusia melalui konsumsi makanan laut (Smith et al., 2018). Kerang merupakan organisme penyaring makanan di dasar laut yang memiliki kemampuan untuk mengakumulasi polutan kimia dari air laut secara efektif. Kerang juga memiliki nilai ekonomi serta gizi tinggi (Murpa et al., 2021). Penelitian Baharuddin et al. (2023) menemukan mikroplastik jenis polietilena pada feses manusia yang mengonsumsi kerang hijau di perairan Kota Makassar (Baharuddin et al., 2023). Penelitian lain oleh Wahdani et al. (2020) mengungkapkan bahwa mikroplastik ditemukan pada 61 dari 118 sampel kerang manila yang dianalisis, dengan ukuran berkisar antara 0,090 mm hingga 4,919 mm (Wahdani et al., 2020).

Indonesia menghasilkan 3,22 juta ton sampah plastik dan 0,48-1,29 juta ton dibuang ke laut (Hendar et al., 2022). Menurut data yang disajikan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), sekitar 80% sampah yang mencemari lautan berasal dari daratan, dan kurang lebih 90% dari sampah tersebut adalah sampah plastik. Badan Statistik Kota Makassar Tahun 2024 melaporkan bahwa jumlah penduduk yang tinggal di daerah pesisir sebanyak (>100.000) jiwa yang tersebar di beberapa kecamatan pesisir seperti Ujung Tanah, Wajo, Ujung Pandang, Tallo, Mariso, dan Tamalanrea (BPS, 2024). Pada tahun 2018, menurut Shuker dan Cadman (World Bank, 2018), Kota Makassar yang merupakan salah satu kota pesisir menghasilkan lebih dari 1200 ton sampah padat setiap harinya. Lebih dari 44 persen sampah di pesisir Makassar adalah mikroplastik terutama berasal dari aktivitas manusia, seperti penggunaan produk perawatan pribadi (seperti pasta gigi dan sabun cuci muka), tekstil (seperti serat mikro dari pencucian pakaian), dan puing-puing plastik yang rusak (seperti botol dan kantong plastik) yang berasal dari limbah industri, aktivitas pariwisata, dan aktivitas pelabuhan (Afdal et al., 2019; Faizal et al., 2020).

Manusia terpapar Mikroplastik melalui inhalasi partikel di udara dan konsumsi melalui makanan, air, dan debu (Song et al., 2021) (Zhang et al., 2021). Penelitian yang dilakukan oleh Segovia-Mendoza (2020) telah membuktikan bahwa anak-anak memiliki risiko lebih besar terpapar mikroplastik dibandingkan orang dewasa (Liu et al., 2023). Dampak mikroplastik pada kesehatan manusia telah diteliti di Inggris, di mana mikroplastik dapat menyebabkan inflamasi, gangguan sistem kekebalan tubuh, hingga genotoksisitas (Caputi et al., 2022; Renner et al., 2022). Dalam produk pasta gigi, mikroplastik yang tertelan dapat memperburuk proses inflamasi pada gusi, serta menimbulkan efek buruk pada struktur gigi dan kesehatan reproduksi pada wanita selama periode neonatal hingga dewasa (Caputi et al., 2022). Dari sisi lingkungan, kehadiran mikroplastik dapat merusak ekosistem perairan, mengganggu pertumbuhan organisme laut, dan memengaruhi keseimbangan ekosistem tanah (Dong et al., 2020).

Penelitian terdahulu cenderung terfokus pada identifikasi mikroplastik di negara-negara maju serta dampaknya terhadap lingkungan, sementara perhatian terhadap sumber pencemaran mikroplastik dari produk perawatan pribadi, seperti pasta gigi, masih minim. Kajian mengenai dampak mikroplastik terhadap kesehatan manusia di negara berkembang, termasuk Indonesia, khususnya di Kota Makassar, belum banyak dilakukan. Selain itu, penerapan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) sebagai pendekatan penting dalam melindungi kesehatan masyarakat dari dampak lingkungan masih jarang digunakan untuk mengevaluasi risiko kesehatan yang diakibatkan oleh mikroplastik dari produk perawatan pribadi di wilayah ini (Amin et al., 2024).

Penelitian tentang mikroplastik di produk perawatan pribadi seperti pasta gigi masih terbatas, terutama di negara berkembang seperti Indonesia. Sebagian besar studi sebelumnya berfokus pada identifikasi mikroplastik dalam produk kosmetik dan perawatan tubuh di negara maju. Penelitian yang ada lebih banyak meneliti dampak mikroplastik terhadap lingkungan, namun riset terkait dampak langsung pada kesehatan manusia, terutama melalui konsumsi makanan laut yang terkontaminasi mikroplastik, masih kurang mendalam di Indonesia (Renner et al., 2022; Wolff et al., 2019).

Gap yang telah diidentifikasi menjadi dasar penelitian ini, yang memiliki kebaruan dalam mengekstraksi dan mengidentifikasi mikroplastik pada produk pasta gigi yang beredar di pasaran Kota Makassar, serta menganalisis keterkaitannya dengan pencemaran mikroplastik yang terakumulasi pada kerang di perairan kota tersebut. Penelitian ini juga mengkaji dampak mikroplastik terhadap kesehatan lingkungan dan manusia, terutama melalui konsumsi kerang yang tercemar. Selain itu, Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) digunakan untuk mengevaluasi risiko kesehatan secara spesifik akibat paparan mikroplastik dari pasta gigi yang memasuki rantai makanan melalui ekosistem laut. Oleh karena itu, penelitian ini sangat menarik dilakukan untuk mengekstraksi, mengidentifikasi produk pasta gigi yang beredar di pasaran Kota Makassar serta menganalisis dampak risiko dari mikroplastik pada kesehatan lingkungan dan kesehatan manusia di perairan Kota Makassar.

1.2. Teori Tentang Mikroplastik pada pasta gigi dan kerang serta efeknya terhadap manusia

Mikroplastik didefinisikan sebagai partikel plastik berukuran kurang dari 5 mm yang dihasilkan melalui dua mekanisme utama, yakni sebagai mikroplastik primer yang terdapat dalam produk perawatan pribadi (misalnya pasta gigi, sabun, kosmetik) dan sebagai mikroplastik sekunder yang terbentuk dari fragmentasi plastik berukuran besar akibat paparan sinar ultraviolet, abrasi mekanis, maupun degradasi kimia (Chaudhary et al., 2024; Rocha-Santos et al., 2022). Karakteristiknya yang sangat kecil, ringan, dan sulit terurai menjadikan mikroplastik tersebar luas di berbagai lingkungan, termasuk air laut, tanah, udara, dan bahkan pada bahan pangan yang dikonsumsi manusia. Dengan demikian, mikroplastik telah berkembang menjadi salah satu bentuk polusi global yang mengancam keberlanjutan ekosistem dan kesehatan manusia.

Kerang (*Bivalvia*) diketahui sebagai bio-indikator penting pencemaran mikroplastik di laut karena sifat biologisnya sebagai *filter feeder* yang mampu menyaring air dalam jumlah besar. Partikel plastik yang tersuspensi dalam perairan kemudian terakumulasi di jaringan tubuh kerang dan selanjutnya berpotensi masuk ke tubuh manusia melalui konsumsi (Erniati et al., 2024). Di sisi lain, produk sehari-hari seperti pasta gigi juga dilaporkan mengandung mikroplastik. Produk pasta gigi umumnya mengandung polimer sintetis seperti polyethylene glycol (PEG) yang berfungsi sebagai pengental, humektan, maupun agen pembersih. Selain PEG, polietilena banyak ditemukan dalam pasta gigi sebagai bahan *abrasive* (Martu et al., 2021). Beberapa penelitian di Malaysia, Turki, dan India melaporkan keberadaan butiran mikroplastik dalam pasta gigi dengan bentuk butir, fragmen, maupun serat yang dilepaskan ke lingkungan melalui saluran air (Chengappa S et al., 2023a). Kondisi ini menunjukkan bahwa paparan mikroplastik terhadap manusia tidak hanya bersumber dari rantai makanan laut, tetapi juga dari produk perawatan diri sehari-hari.

Paparan mikroplastik terhadap tubuh manusia terjadi melalui konsumsi, inhalasi, dan kontak dermal. Jalur konsumsi merupakan rute paparan yang paling dominan, terutama melalui makanan laut yang terkontaminasi mikroplastik, serta dapat pula terjadi akibat tertelannya pasta gigi secara tidak sengaja pada saat penggunaan (Emenike et al., 2023; Vithanage & Prasad, 2023). Pada sistem gastrointestinal, mikroplastik dapat menimbulkan inflamasi, perubahan mikro-biota usus, serta peningkatan permeabilitas usus. Pada sistem endokrin, mikroplastik berperan sebagai pembawa senyawa pengganggu hormon (*endocrine disrupting chemicals*), yang berpotensi menimbulkan infertilitas dan kanker. Selain itu, akumulasi mikroplastik dalam sistem vaskular dikaitkan dengan stres oksidatif, disfungsi endotel, serta peningkatan risiko arteriosklerosis dan gangguan jantung (Emenike et al., 2023; Goswami et al., 2024). Lebih jauh, paparan kronis dapat memicu mutasi genetik dan kerusakan DNA yang berkembang menjadi kanker pada organ vital, menjadikan mikroplastik sebagai ancaman serius bagi kesehatan manusia.

1.3. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana karakteristik mikroplastik dalam produk pasta gigi yang beredar di wilayah pesisir Kota Makassar?
2. Bagaimana bioakumulasi mikroplastik dalam kerang (*Pilsbryoconcha exilis*) di wilayah pesisir Kota Makassar dan dampaknya terhadap lingkungan?
3. Bagaimana risiko kesehatan manusia akibat paparan mikroplastik melalui konsumsi pasta gigi dan makanan laut, khususnya kerang, di Kota Makassar?

1.4. Tujuan penelitian

1. Tujuan Umum

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis karakteristik mikroplastik dalam pasta gigi, menganalisis bioakumulasi mikroplastik pada organisme laut

seperti kerang, serta mengevaluasi dampak kontaminasi mikroplastik terhadap kesehatan lingkungan dan masyarakat di pesisir Kota Makassar.

2. Tujuan Khusus

- a. Untuk menganalisis karakteristik mikroplastik dalam produk pasta gigi yang beredar di pasaran Kota Makassar.
- b. Untuk menganalisis bioakumulasi mikroplastik dalam kerang (*P. exilis*) di wilayah pesisir Kota Makassar dan dampaknya terhadap lingkungan.
- c. Untuk menganalisis risiko karsinogenik akibat kontaminasi mikroplastik pada pasta gigi dan kerang yang berada di pesisir Kota Makassar.

1.5. Manfaat Penelitian

1. Manfaat Ilmiah

Menambah wawasan dan ilmu pengetahuan bagi akademisi tentang jenis-jenis mikroplastik pada produk pasta gigi, serta dapat menjadi sumber referensi untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan analisis risiko mikroplastik pada produk pasta gigi.

2. Manfaat Institusi

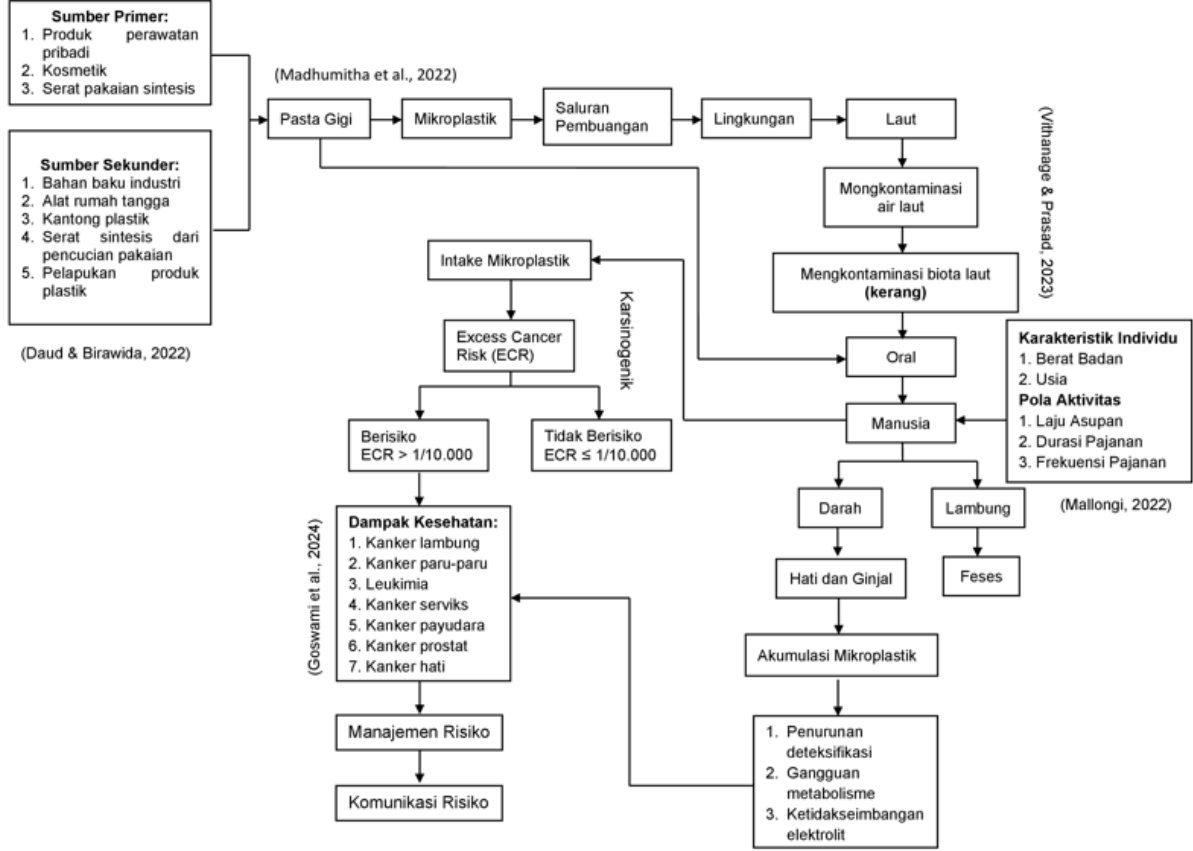
Memberikan informasi dan evaluasi kepada BPOM dan Pemerintah Kota Makassar untuk menyusun regulasi terkait bahan berbahaya dalam produk perawatan pribadi, serta mendukung pengambilan keputusan dalam manajemen risiko lingkungan dan kesehatan masyarakat di perairan Kota Makassar.

3. Manfaat Praktis

Menambah wawasan dan pengalaman bagi pembaca mengenai jenis-jenis mikroplastik yang ada pada produk pasta gigi, dan dampak risiko kesehatan lingkungan dan masyarakat yang berada di sekitar perairan Kota Makassar, serta dapat menjadi sarana pengembangan ilmu pengetahuan yang secara teoritis didapatkan selama perkuliahan.

1.6. Kerangka Teori

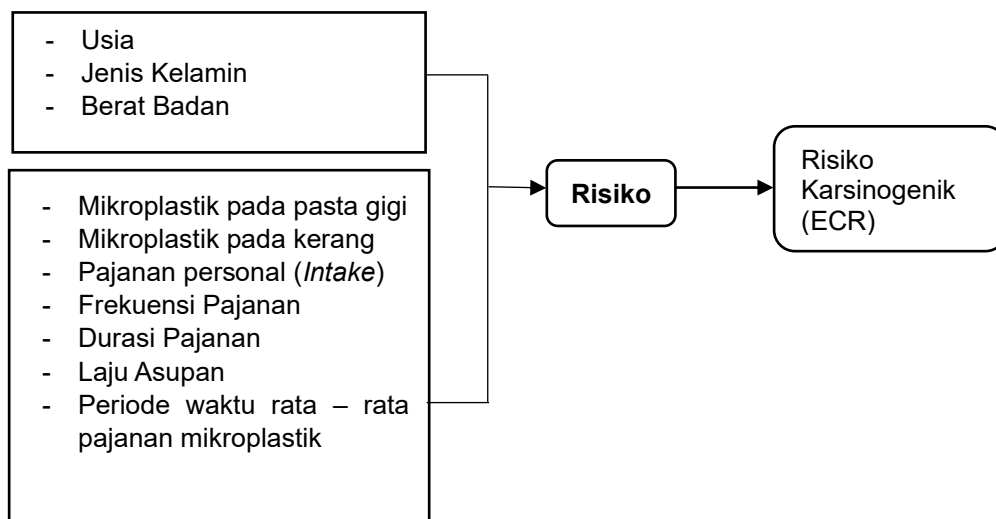
Penulis menggambarkan tentang Ekstraksi, Identifikasi, dan Analisis Risiko Mikroplastik dalam Produk Pasta Gigi di Pesisir Kota Makassar yang dituliskan pada tinjauan pustaka kedalam bagan kerangka teori yang disajikan pada gambar 1.1



Gambar 1.1 Kerangka teori

1.7. Kerangka Konsep

Penulis menjelaskan kerangka konseptual penelitian yang dirancang untuk menganalisis risiko kesehatan masyarakat yang tinggal di sekitar perairan kota Makassar khususnya kelurahan Tallo akibat paparan mikroplastik. Kerangka tersebut diilustrasikan dalam Gambar 1.2 untuk memberikan gambaran visual tentang hubungan antara variabel-variabel yang dikaji dalam penelitian ini.



Gambar 1.2 Kerangka Konsep

Keterangan :

- Variabel Dependent
- Variabel Independent

1.8. Hipotesis Penelitian

1. Terdapat mikroplastik dalam pasta gigi masyarakat yang tinggal di wilayah pesisir kota Makassar.
2. Terdapat mikroplastik dalam kerang yang berada di wilayah pesisir kota
3. Terdapat risiko karsinogenik akibat kontaminasi mikroplastik pada pasta gigi dan kerang di pesisir kota Makassar.

1.9. Definisi Operasional dan Kriteria Objektif

Penulis menguraikan definisi operasional dan kriteria objektif dari variabel yang digunakan dalam penelitian Ekstraksi, Identifikasi, dan Analisis Risiko Mikroplastik dalam Produk Pasta Gigi di Pesisir Kota Makassar yang disajikan dalam Tabel 2.4

Tabel 1.1 Definisi Operasional dan Kriteria Objektif

No	Variabel	Definisi Operasional	Kriteria Objektif	Cara Ukur	Satuan	Skala Ukur
1	Usia	Lamanya waktu yang dilewati oleh responden pada saat dilakukan wawancara terhitung sejak responden lahir hingga penelitian dilakukan.	1. Anak-anak usia 6-12 tahun 2. Dewasa umur 21-65 tahun	Wawancara	Tahun	Rasio
2	Berat Badan(BW)	Berat badan yang diukur pada saat pengukuran langsung atau observasi dilakukan	-	Menimbang berat badan Responden	kg	Rasio
3	Mikroplastik pada Pasta gigi	Partikel plastik kecil berukuran kurang dari 5 mm yang ditambahkan sebagai bahan tambahan dalam formulasi pasta gigi	Konsentrasi jenis, ukuran, dan polimer Mikroplastik pada pasta gigi yang telah diuji di Laboratorium	Pengukuran Spektrofotometri FTIR	cm ⁻¹	Rasio
4	Konsentrasi Mikroplastik pada kerang	Konsentrasi mikroplastik dalam penelitian ini adalah banyaknya mikroplastik yang terkandung pada kerang	-	Mikroskop	Partikel/gram	Rasio
5	Pajanan Personal (Intake)	Banyaknya pasta gigi yang tertelan dan kerang yang di konsumsi melalui saluran pencernaan.	-	Rumus (Ingesti) $CDI\ Oral = \frac{CW \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT}$	mg/L/hari	Rasio

No	Variabel	Definisi Operasional	Kriteria Objektif	Cara Ukur	Satuan	Skala Ukur
6	Frekuensi Paparan (F_e)	Jumlah hari menggunakan pasta gigi menggunakan air dan mengonsumsi kerang yang mengandung mikroplastik per tahun	365 hari/tahun	Wawancara	Hari/tahun	Rasio
7	Durasi Pemajanan (D_t)	Lamanya waktu menggunakan pasta gigi air dan mengonsumsi kerang yang mengandung mikroplastik di lokasi penelitian dalam tahun	Durasi paparan = 70 tahun (efek karsinogenik)	Wawancara	Tahun	Rasio
8	Laju Asupan (R)	Banyaknya kerang yang dikonsumsi oleh masyarakat dalam satuan gr/hari	Min 100 gr/hari Max 500 gr/hari	Wawancara dan menggunakan referensi buku	gr/hari	Rasio
9	Tingkat Risiko Karsinogenik (ECR)	Besarnya risiko karsinogenik mikroplastik terhadap masyarakat	$ECR \leq 10^{-4}$ (Tidak dianggap berisiko) $ECR > 10^{-4}$ (Berisiko terkena efek karsinogenik)	Rumus Perhitungan $ECR = I \times SF$	gr/mg/L/hari	Rasio
10	Periode waktu rata rata (AT)	Periode waktu rata rata untuk efek karsinogenik	Efek non karsinogenik = 10.950 hari Efek karsinogenik = 25.550 hari	Efek NonCarsinogenik = 10.950 hari Efek karsinogenik = 25.550 hari	Hari	Rasio

1.10. Tabel Sintesa

Berikut beberapa artikel jurnal terkait Ekstraksi, Identifikasi, dan Analisis Risiko Mikroplastik dalam Produk Pasta Gigi di Pesisir Kota Makassar

Tabel 1.2 Tabel sintesa

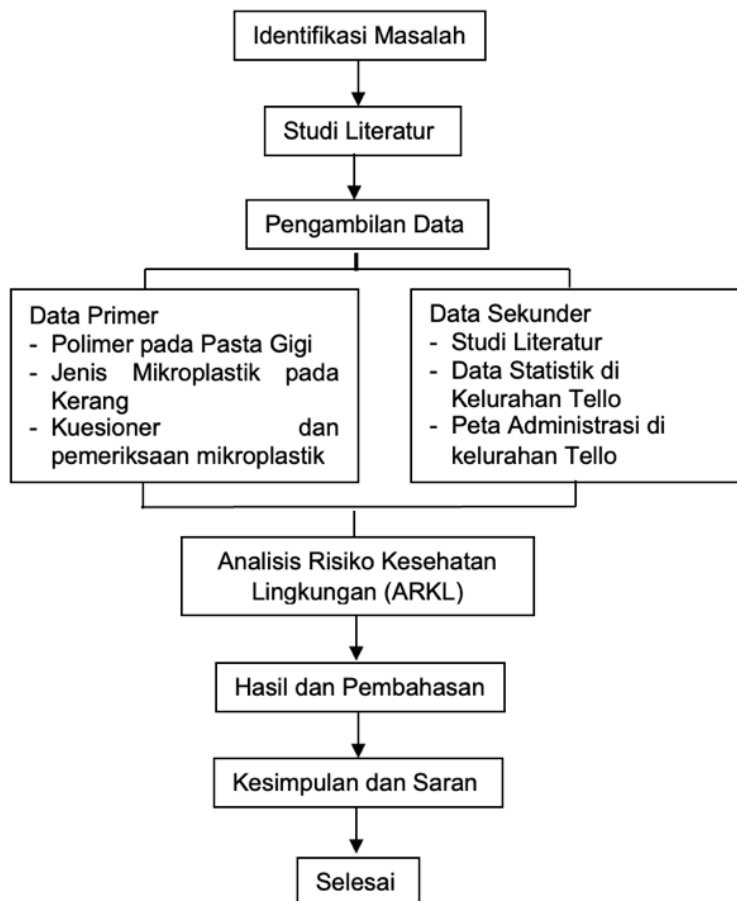
No	Judul	Penulis	Metode	Hasil
1.	Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Pada Air Minum Masyarakat Di Pulau Kodingareng Dan Barrang Lompo Kota Makassar Tahun 2022	(Aulia et al., 2024)	Observasional deskriptif dengan metode ARKL	Hasil peelitian ini menunjukkan emua sampel kerang kijing positif mengandung mikroplastik, dengan rata-rata konsentrasi 0.245 gram. RQ < 1 menunjukkan tidak ada risiko pajanan mikroplastik dalam jangka waktu dekat.
2.	Environmental Health Risk of Microplastics Due to Consumption of Fish and Shellfish in the Coastal Area	(Daud et al., 2024)	Observasional dengan analisis kuantitatif deskriptif. Sampel terdiri dari 30 manusia dan 40 biota laut (20 ikan dan 20 kerang) yang diambil dari Kabupaten Takalar, Indonesia	Hasil pengujian menunjukkan onsentration rata-rata mikroplastik di kerang adalah 2,01 mg/kg. Rata-rata paparan risiko (RQ) untuk ikan dan kerang adalah 0.02, yang menunjukkan bahwa semua sampel aman untuk dikonsumsi. Mikroplastik ditemukan dalam bentuk garis, fragmen, film, dan pelet. Hasilnya menunjukkan bahwa meskipun terdapat kontaminasi mikroplastik, risiko kesehatan dari konsumsi tidak signifikan terhadap populasi di wilayah pesisir Takalar.
3.	Microplastics contamination and risk assessment in bivalves of economic importance from Beypore estuary, Southern India	(Magesh & Ajith, 2024)	Kuantitatif analitik dengan mixed methods (eksperimen dan ARKL)	Berdasarkan penelitian, Karakteristik mikroplastik didominasi oleh partikel berwarna transparan, dengan polimer utama adalah polietilen dan polipropilena. Risiko kesehatan dikategorikan antara level II dan IV, menunjukkan risiko signifikan.

No	Judul	Penulis	Metode	Hasil
4.	Risk Analysis of Microplastic Exposure Through Consumption of Anadara Granosa at Coastal Area	(Namira et al., 2023)	Metode Kuantitatif deksriptif. Sampel diambil dari 5 lokasi di daerah pesisir Desa Pao, Tarawang, Jeneponto, dengan mengumpulkan 30 responden dan 125 kerang darah (<i>Anadara granosa</i>). Data diperoleh melalui wawancara, identifikasi mikroplastik di laboratorium, dan analisis jenis polimer menggunakan FTIR.	Ditemukan 68 mikroplastik dalam sampel kerang darah, dengan bentuk dominan berupa garis dan warna biru. Jenis polimer yang teridentifikasi adalah Polystyrene (PS), Low-density polyethylene (LDPE), Polyvinyl chloride (PVC), dan Polyethylene (PE). Rata-rata asupan harian non-karsinogenik adalah 0.00012 mg/kg/hari, dan tingkat risiko (RQ) adalah 0.0006, yang menunjukkan bahwa risiko konsumsi kerang darah yang terkontaminasi mikroplastik masih dalam kategori aman. Pengendalian risiko tetap diperlukan meskipun hasil menunjukkan aman.
5.	The Raman spectroscopy and SEM/EDS investigation of the primary sources of microplastics from cosmetics available in Poland	(Dąbrowska et al., 2022)	Eksperimen	Hasil penelitian menunjukkan menemukan bahwa mikroplastik dari kosmetik, terutama <i>polyethylene</i> (PE) dan <i>polypropylene</i> (PP), memiliki potensi sebagai vektor polutan organik persisten (POPs) seperti DDT. Dampak lingkungan meliputi kontaminasi air dan potensi bioakumulasi melalui rantai makanan.
6.	Extraction, identification, and environmental risk assessment of microplastics in commercial toothpaste	(Madhumitha et al., 2022)	Kuantitatif analitik dengan mixed methods	Berdasarkan penelitian, semua sampel pasta gigi mengandung mikroplastik dengan konsentrasi 0,2-0,9% berat. Jenis mikroplastik yang umum ditemukan adalah fragment dan serat, dengan ukuran dominan 100-399 µm. Polimer yang ditemukan adalah selulosa, polipropilena, polivinil klorida, dan poliamid. Rata-rata emisi mikroplastik diperkirakan mencapai 1,4 miliar g/tahun untuk India, menunjukkan risiko signifikan terhadap lingkungan.

No	Judul	Penulis	Metode	Hasil
7.	Occurrence and risk assessment of microplastics from various toothpastes	(Ustabasi & Baysal, 2019)	Eksperimen	Hasil penelitian menunjukkan 20% dari sampel mengandung mikroplastik, terutama polietilen, dengan konsentrasi antara 0.4% dan 1%. Estimasi pelepasan mikroplastik dari penggunaan pasta gigi di Istanbul mencapai 871 juta gram per tahun. Penelitian ini adalah penelitian pertama yang mengkaji kontribusi pasta gigi terhadap polusi MP di Turki.
8.	Identification of microplastics using Raman spectroscopy: Latest developments and future prospects	(Araujo et al., 2018)	Literature review	Sudi literatur mengenai metode identifikasi MP Raman <i>spectroscopy</i> efektif untuk mengidentifikasi microplastics (MP) kecil (<20 μm). Ditemukan bahwa 64% dari MP kecil (<400 μm) yang dianalisis menggunakan spektrofotometer Raman berukuran di bawah 40 μm . Metode ini dapat mendeteksi MP yang tidak terdeteksi oleh FTIR, dengan MP terdeteksi sampai ukuran 5 μm .

BAB II METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alur Penelitian



Gambar 2.1 Diagram Alur Penelitian

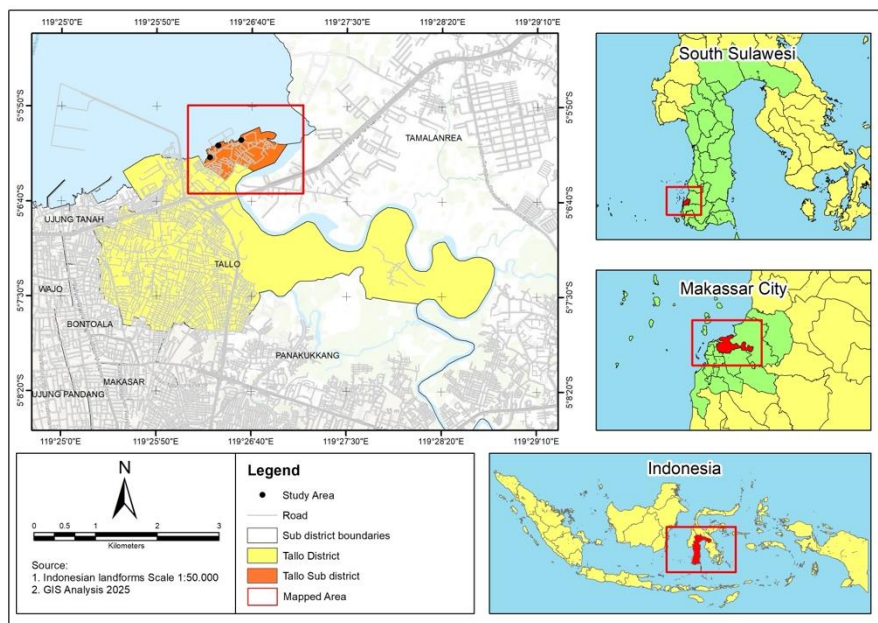
3.2 Pendekatan dan Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan jenis penelitian kuantitatif-deskriptif dan menggunakan pendekatan *mixed methods* (eksperimen dan analisis risiko kesehatan lingkungan). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL), yang bertujuan untuk mengestimasi tingkat risiko yang dialami oleh suatu populasi akibat paparan agen pencemar di lingkungan. Berbeda dengan studi epidemiologi yang biasanya bertujuan untuk mengidentifikasi hubungan kausal antara variabel independen dan efek kesehatan, ARKL lebih menekankan pada proses estimasi risiko tanpa memaparkan efek kausal langsung (Dirjen P2PL, 2012).

3.3 Lokasi dan Waktu Penelitian

1. Lokasi

Penelitian ini dilaksanakan di kawasan pesisir Kelurahan Tallo, Makassar, dengan tiga titik pengambilan sampel kerang. Stasiun 1 adalah mangrove, stasiun 2 adalah laut dekat pemukiman penduduk, dan stasiun 3 adalah pasar tradisional yang berada dekat pemukiman penduduk. Kemudian, tujuh sampel pasta gigi dengan berbagai merek yang mencakup area di sekitar kawasan pemukiman penduduk. Kedua sampel kerang dan pasta gigi yang diperoleh selanjutnya dibawa ke Laboratorium Ekotoksikologi Laut Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin (FIKP Unhas) untuk dilakukan analisis lebih lanjut, khususnya terkait karakteristik mikroplastik pada kerang dan pasta gigi. Data hasil analisis ini juga dilampirkan sebagai bagian dari penelitian.



Gambar 2.2 Peta Lokasi Penelitian

2. Waktu penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama Januari–Agustus 2025. Tahap awal meliputi observasi dan penentuan lokasi studi pada Januari, diikuti pengambilan serta analisis sampel kerang pada Februari–Maret. Bulan April difokuskan pada pengurusan izin etik dan perizinan resmi dari instansi atau pihak berwenang, sedangkan pengumpulan data wawancara dan kuesioner untuk Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) dilakukan pada Mei. Analisis laboratorium diperluas pada Juni–Juli melalui pemeriksaan mikroplastik pada sampel pasta gigi. Seluruh data yang diperoleh kemudian diolah dan dianalisis pada Juli–Agustus sebagai dasar penyusunan laporan akhir (Tesis).

3.4 Populasi dan Sampel Penelitian

1. Populasi

Populasi dalam penelitian ini yaitu masyarakat pesisir, yaitu anak-anak berusia 6–12 tahun dan dewasa berusia 21–65 tahun yang bertempat tinggal disekitaran Tallo, Kelurahan Tallo, Makassar, Provinsi Sulawesi Selatan.

2. Sampel Penelitian

a. Sampel Manusia

Sampel masyarakat pesisir dalam penelitian ini diambil menggunakan metode *purposive sampling*.

Besarnya sampel ditetapkan dengan menggunakan rumus Slovin. Adapun rumus Slovin adalah sebagai berikut :

$$n = \frac{N}{1+N (e)^2}$$

dimana :

- n : Ukuran Sampel
- N : Ukuran Populasi
- e : *Standard Error* (10%)

Berdasarkan rumus Slovin tersebut, maka diperoleh besarnya sampel sebagai berikut :

$$n = \frac{9574}{1+9574 (0,1)^2}$$

$$n = \frac{9574}{96,74}$$

$$n = 99 \text{ responden}$$

Jumlah sampel yang ditentukan sebanyak 99 orang yang memenuhi kriteria inklusi berikut:

- 1) Anak-anak berusia 6–12 tahun.
- 2) Dewasa berusia 26–65 tahun.
- 3) Lama tinggal di lokasi penelitian minimal 3 tahun.
- 4) Memakai pasta gigi dengan durasi pakai minimal 2x sehari dan mengonsumsi kerang.
- 5) Memakai pasta gigi dengan durasi pakai minimal 2x sehari tetapi tidak mengonsumsi kerang.
- 6) Tidak memakai pasta gigi dengan durasi pakai minimal 2x sehari tetapi mengonsumsi kerang.
- 7) Jarak tempat tinggal berada dalam radius 1–5 km dari daerah pesisir Tallo, Kota Makassar.

Sedangkan, Kriteria eksklusi untuk responden adalah:

- 1) Responden yang tidak mengonsumsi kerang.
- 2) Responden tidak memakai pasta gigi dengan durasi dibawah 2x sehari.

b. Sampel Pasta gigi

Sampel pasta gigi yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari tujuh sampel, yaitu produk yang umum digunakan oleh masyarakat di lokasi penelitian, yaitu Pepsodent, Ciptadent, dan produk lain yang diproduksi oleh PT. Unilever Indonesia Tbk., PT. Lion Wings, dan PT. Herba Penawar Al-Wahida Indonesia (HPAI).

c. Sampel Kerang

Sampel kerang diambil di pesisir kelurahan Tallo Makassar (dekat pemukiman penduduk RW 4) dengan jumlah sampel 15 kerang, kemudian sampel kerang dibawa ke Laboratorium untuk diperiksa mikroplastik pada kerang.

3.5 Pemeriksaan sampel

1. Sampel Pasta gigi

Ekstraksi pasta gigi dilakukan dengan metode separasi densitas yaitu pemisahan partikel berdasarkan perbedaan massa jenis pencampuran sampel dengan larutan jenuh (NaCl) (Bin Zahir Arju et al., 2025; Lusher et al., 2017). Pertama-tama, sampel pasta gigi dikeringkan menggunakan oven pada suhu 60 °C. Setelah kering, sebanyak 100 gram pasta gigi dimasukkan ke dalam gelas kimia berkapasitas 250 mL, kemudian ditambahkan larutan NaCl dengan densitas 1,4 g/cm³ (setara dengan 300 g NaCl dalam 1 liter akuabides). Selanjutnya, larutan diaduk menggunakan batang pengaduk selama 3–5 menit, lalu dibiarkan selama 5 menit hingga terbentuk sedimen yang mulai mengendap. Sampel kemudian didiamkan selama 24 jam. Partikel ringan yang mengapung di permukaan selanjutnya dikoleksi. Cairan sisa kemudian disaring menggunakan kertas saring Whatman 0,45 µm dengan bantuan pompa vakum untuk memisahkan supernatan dari sisa pasta gigi. Setelah penyaringan, supernatan diamati di bawah mikroskop, sedangkan residu pasta gigi yang masih tertinggal dalam gelas kimia 250 mL juga diamati secara langsung di bawah mikroskop. Supernatan, yang mengandung partikel plastik, kemudian di analisis lebih lanjut menggunakan spektrofotometri FTIR.

2. Sampel kerang

a. Alat :

- 1) Tabung/pot
- 2) Gelas ukur
- 3) Pengaduk kaca
- 4) Mikroskop
- 5) Cawan petri
- 6) Pinset
- 7) *Cover glass*
- 8) *Slide micro*
- 9) Kamera ponsel

b. Bahan :

- 1) Kerang
- 2) *Water one*
- 3) Kalium Hidroksida (KOH)
- 4) Air murni

c. Metode (Cara Kerja) :

Metode (cara kerja) ini merujuk pada penelitian yang dilakukan (et al., 2013) (Masura et al., 2015) (Rocha-Santos et al., 2022):

- 1) Kerang terlebih dahulu diidentifikasi dengan cara mengukur panjang,

- lebar dan tinggi kerang
- 2) Kerang yang telah diukur kemudian ditimbang dengan cangkangnya dan tanpa cangkang.
 - 3) Untuk menghindari kontaminasi silang antara sampel, semua alat dan peralatan gelas dibilas dengan air ultra murni sebanyak 3 kali.
 - 4) Kerang yang telah dikeluarkan dari cangkangnya kemudian dimasukkan ke dalam botol sampel dan direndam dengan larutan KOH 20% (20-30 ml) hingga 3 kali volume daging kerang untuk mengekstraksi puing-puing mikroplastik dari tubuh kerang
 - 5) Sampel yang telah diekstraksi kemudian disimpan selama 2 minggu untuk kemudian dianalisis.
 - 6) Sebelum sampel dianalisis terlebih dahulu cawan petri kaca dibilas terlebih dahulu menggunakan air ultra murni sebanyak 3 kali
 - 7) Sampel dituang ke cawan petri kaca (3-5 ml) untuk kemudian dilakukan pengamatan menggunakan mikroskop.
 - 8) Mikroplastik yang teridentifikasi kemudian diambil menggunakan pinset lalu disimpan pada *slide micro* yang telah diberi air ultra murni
 - 9) Sampel mikroplastik kemudian di foto menggunakan kamera ponsel untuk mengetahui ukuran mikroplastik
 - 10) Panjang mikroplastik kemudian diukur menggunakan program *Image J*.
 - 11) Untuk menghindari kontaminasi silang, semua peralatan seperti gelas, cawan patri kaca dan pengaduk kaca dibilas sebanyak tiga kali dengan air ultra murni.

3. Analisis jenis polimer mikroplastik

Identifikasi gugus fungsi polimer mikroplastik dilakukan melalui spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR). Preparasi sampel mengikuti langkah-langkah berikut:

a) Preparasi Sampel (Pembuatan Pelet KBr)

- 1) Homogenisasi Sampel: Sejumlah kecil sampel mikroplastik diletakkan di dalam wadah.
- 2) Pencampuran: Sampel kemudian dicampur secara merata dengan kalium bromida (KBr) kristal hingga homogen. KBr digunakan sebagai matriks transparan karena tidak menyerap radiasi inframerah pada rentang yang dianalisis.
- 3) Pembentukan Pelet: Campuran sampel dan KBr tersebut selanjutnya dikempa menggunakan mini hand press untuk membentuk pelet KBr (pil KBr) yang padat dan tipis.

b) Pengukuran Spektrum

Setelah pelet KBr terbentuk, sampel siap diukur menggunakan spektrofotometer FTIR. Pengukuran dilakukan dengan parameter sebagai berikut:

- Rentang Bilangan Gelombang : 340-4500 cm^{-1}
- Resolusi : 4
- Jumlah Pindai (Scan) : 200

Spektrum yang dihasilkan kemudian diinterpretasikan untuk mengidentifikasi puncak serapan inframerah, yang merupakan karakteristik gugus fungsi dari jenis polimer mikroplastik yang dianalisis (Bredács et al., 2021)

3.6 Pengumpulan Data

1. Data primer

Data primer adalah data yang diperoleh langsung dari sumber utama, yaitu:

- a) Hasil Laboratorium Ekotoksikologi Laut FIKP Unhas untuk pengukuran morfometrik dan pengamatan mikroplastik pasta gigi dan kerang menggunakan mikroskop.
- b) Hasil identifikasi Hasil Laboratorium Ekotoksikologi Laut FIKP Unhas berupa data spektroskopi FTIR untuk tipe polimer dalam pasta gigi dan kerang.
- c) Hasil wawancara atau pengisian kuesioner yang dilakukan oleh peneliti.

2. Data sekunder

Data sekunder dalam penelitian ini diperoleh melalui studi literatur dan sumber data dari instansi pemerintah di lokasi penelitian. Studi literatur dilakukan dengan menelusuri berbagai referensi, seperti buku, tugas akhir, jurnal ilmiah, artikel, serta sumber informasi lain yang relevan melalui penelusuran internet yang berkaitan dengan topik penelitian ini. Sedangkan data dari pemerintah lokal diperoleh melalui basis data statistik yang dikelola oleh instansi terkait.

3.7 Prosedur Penelitian

1. Observasi lapangan
2. Pengambilan data sekunder
3. Pengambilan sampel pasta gigi
4. Pengambilan sampel kerang.
5. Wawancara responden: Wawancara responden dilakukan untuk memperoleh data-data yang dibutuhkan untuk melakukan perhitungan dosis pajanan harian seperti karakteristik individu (laju asupan, berat badan, dan umur) serta pola aktivitas (lama pajanan, frekuensi pajanan, dan lama tinggal)
6. Menghitung dosis pajanan harian yang diterima oleh responden
7. Menentukan besaran risiko yang akan diterima responden

3.8 Pengolahan Data dan Penyajian Data, dan Analisis Data

1. Pengelohan data

a. Penyuntingan (*Editing*)

Langkah pertama yang dilakukan setelah wawancara dan observasi adalah penyuntingan, yang bertujuan untuk memeriksa dan memperbaiki setiap entri dalam kuesioner penelitian. Proses ini penting untuk memastikan bahwa data yang dikumpulkan telah diisi secara lengkap dan sesuai dengan ketentuan yang ditetapkan.

b. Pemberian Kode (*Coding*)

Selanjutnya, dilakukan pemberian kode, yakni mengubah data yang berupa kalimat atau deskripsi menjadi angka atau bilangan. Proses ini sangat penting dalam mempermudah tahap selanjutnya, yaitu proses entri data (*data entry*).

c. Memasukkan Data (*Data entry*) atau Pengolahan (*Processing*)

Setelah data dari responden dikodekan, langkah berikutnya adalah memasukkan data tersebut ke dalam perangkat lunak menggunakan Program Statistik untuk Pengolahan (PSP). Proses ini memastikan bahwa data dapat diolah lebih lanjut sesuai dengan kebutuhan penelitian.

d. Pembersihan Data (*Cleaning data*)

Proses pembersihan data melibatkan pemeriksaan mendalam terhadap semua data yang telah dikumpulkan, untuk memastikan tidak ada kesalahan atau ketidaklengkapan. Apabila ditemukan kesalahan, dilakukan perbaikan untuk menjaga kualitas dan integritas data yang digunakan dalam penelitian.

2. Penyajian Data

Data yang telah diolah disajikan dalam bentuk tabel yang disertai distribusi, persentase dan interpretasi. Selain itu, data juga disajikan dalam bentuk grafik disertai dengan narasi.

3. Analisis Data

a. Analisis Univariat

Analisis ini dilakukan untuk menggambarkan karakteristik dari setiap variabel independen dan dependen. Data yang diperoleh disajikan dalam bentuk tabel frekuensi, yang mencakup informasi mengenai responden, frekuensi pajanan, durasi pajanan, serta waktu rata-rata pajanan.

b. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL)

1) Identifikasi bahaya

Proses identifikasi bahaya mencakup proses mendeskripsikan kemampuan suatu bahan kimia untuk menimbulkan efek merugikan pada kesehatan organisme hidup pada dosis tertentu. Identifikasi bahaya pada penelitian ini dilakukan dengan menghitung konsentrasi mikroplastik pada 7 merek pasta gigi dan kerang *P. exilis*.

2) Identifikasi sumber

Identifikasi risiko dalam penelitian ini dibagi menjadi dua tahap utama, yaitu perhitungan bahaya melalui estimasi pajanan harian pada masyarakat (*intake*) serta analisis dosis-respons. Perhitungan *intake* dilakukan dalam dua skema, yakni *intake real-time* pada tahun 2025 dan *lifetime intake* dengan asumsi durasi pajanan karsinogenik selama 10–70 tahun, sedangkan untuk non-karsinogenik ditetapkan hingga 30 tahun. Analisis dosis-respons digunakan untuk menentukan nilai *Excess Cancer Risk* (ECR) pada pajanan bersifat karsinogenik dengan penentuan *slope factor* (SF) tiap pajanan. Pajanan yang dihitung dalam penelitian ini terjadi melalui jalur oral atau ingesti.

Intake dinyatakan dalam bentuk *Intake (I)* atau *Chronic Daily Intake* (CDI). Perhitungan CDI dari mikroplastik yang tertelan, baik melalui penggunaan pasta gigi maupun konsumsi kerang, dihitung menggunakan **Persamaan 1**. Data konsentrasi mikroplastik dalam pasta gigi dan kerang, serta karakteristik masyarakat pesisir Kelurahan Tallo, yang telah dikumpulkan sebelumnya, dianalisis lebih lanjut untuk memperoleh estimasi nilai *intake* baik pada skema *real-time* (tahun 2025) maupun *lifetime* (durasi pajanan 10–70 tahun) untuk kelompok anak-anak dan dewasa.

Perhitungan nilai *Intake* karsinogenik pada jalur pemajanan ingesti (tertelan) dilakukan dengan menggunakan rumus pada persamaan sebagai berikut:

$$CDI = \frac{CW \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (1)$$

Keterangan:

CW : Konsentrasi mikroplastik (mg/kg)
 IR : Laju Asupan / *ingestion rate* (g/hari)
 EF : Frekuensi pajanan/ *exposure frequency* (hari/tahun)
 ED : Durasi pajanan/ *exposure duration* (tahun)
 BW : Berat badan/ *body weight* (kg)
 AT : Rata rata waktu/ *average time* (untuk non-karsinogenik, AT=ED x 365 hari)

3) Karakterisasi Risiko

Analisis risiko karsinogenik dilakukan dengan menghitung nilai *Excess Cancer Risk* (ECR), yang diperoleh melalui perkalian antara nilai *intake* dan *slope factor* (SF). Nilai SF sebagai referensi dosis karsinogenik diadopsi dari basis data Integrated Risk Information System (IRIS) yang dipublikasikan oleh U.S. Environmental Protection Agency (EPA) pada laman resmi www.epa.gov/iris. Berdasarkan kriteria yang digunakan, pajanan mikroplastik melalui penggunaan pasta gigi, dan konsumsi kerang pada kelompok anak-anak dan dewasa dinyatakan berisiko apabila nilai ECR melebihi 10^{-4} ($> E 10^{-4}$), sedangkan pajanan dikategorikan tidak berisiko apabila ECR bernilai kurang dari 10^{-4} ($\leq E 10^{-4}$). Rumus untuk menentukan ECR sebagai berikut:

$$ECR = CDI \times SF \quad (2)$$

Keterangan:

ECR = Tingkat risiko efek karsinogenik (*Excess Cancer Risk*)
 SF = Nilai referensi agen risiko (*Slope Factor*)
 CDI = *Intake* (pajanan)

4) Manajemen Risiko

Setelah analisis risiko kesehatan lingkungan dilakukan dan diperoleh nilai *Excess Cancer Risk* (ECR) lebih besar dari 10^{-4} , diperlukan langkah tindak lanjut untuk memitigasi risiko tersebut. Upaya yang dapat dilakukan adalah menurunkan konsentrasi agen risiko apabila pola maupun frekuensi konsumsi tidak memungkinkan untuk diubah. Alternatif strategi lainnya adalah menyesuaikan nilai intake agar sebanding dengan *slope factor* (SF), yang dapat dicapai melalui pengurangan jumlah konsumsi. Pengurangan ini secara langsung akan menurunkan laju asupan sehingga potensi risiko kesehatan dapat diminimalisasi.

4. Etika Penelitian

Penelitian merupakan salah satu komponen utama dalam Tri Dharma Perguruan Tinggi yang wajib dilaksanakan oleh seluruh civitas akademika. Berdasarkan ketentuan dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2012 tentang Pendidikan Tinggi, disebutkan dengan jelas bahwa perguruan tinggi memiliki kewajiban untuk melaksanakan Tri Dharma Perguruan Tinggi, yang meliputi pelaksanaan pendidikan, penelitian, dan pengabdian kepada masyarakat.

Penelitian di bidang kesehatan, khususnya kesehatan masyarakat, sangat terkait dengan moral dan etika yang menjadi batasan dalam pelaksanaannya. Tujuan utama dari etika penelitian dalam kesehatan masyarakat adalah untuk mencegah kerugian yang mungkin dialami oleh responden atau subjek penelitian akibat perlakuan yang diterimanya selama berpartisipasi dalam suatu studi (Hansen et al., 2023). Dalam rangka menjalankan penelitian ini, peneliti akan mengurus kode etik penelitian di Komisi Etik Penelitian Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin guna memperoleh surat kelayakan etik penelitian.

Setiap penelitian kesehatan yang melibatkan manusia sebagai subjek penelitian harus berlandaskan pada tiga prinsip etika berikut (Hansen et al., 2023):

a. *Respect for Persons (Other)*

Prinsip ini bertujuan untuk menghormati otonomi individu dalam pengambilan keputusan secara mandiri (self-determination) serta melindungi kelompok-kelompok yang tergantung atau rentan dari potensi penyalahgunaan atau kerugian.

b. *Beneficence and Non-Maleficence*

Prinsip ini berfokus pada upaya untuk memberikan manfaat yang maksimal bagi subjek penelitian, dengan meminimalkan risiko yang dapat ditimbulkan.

c. *Justice*

Prinsip keadilan ini menekankan bahwa setiap individu berhak untuk mendapatkan perlakuan yang sesuai dengan haknya, yang mencakup keadilan distributif dan pembagian yang seimbang (*equitable*).

Untuk menghormati prinsip-prinsip etika ini, peneliti diwajibkan memberikan penjelasan yang jelas dan memadai kepada setiap responden yang akan dilibatkan sebagai subjek penelitian, serta meminta persetujuan dari mereka yang dikenal dengan istilah Persetujuan Setelah Penjelasan (*PSP/Informed Consent*). Penjelasan tersebut diberikan agar subjek penelitian memahami tujuan penelitian, risiko dan manfaat yang mungkin timbul, serta hak dan kewajibannya dalam penelitian ini.