

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Merkuri (Hg) merupakan unsur kimia yang secara alami terdapat pada batuan kerak bumi serta endapan batubara. Secara umum, merkuri hadir dalam empat bentuk utama, yaitu merkuri elemental (Hg^0), merkuri anorganik (Hg^{2+}), metilmerkuri (MeHg). Beragam sumber dapat melepaskan merkuri ke atmosfer, yang selanjutnya mengalami transformasi kimia di lingkungan perairan dan tanah, sehingga meningkatkan tingkat toksisitasnya terhadap ekosistem dan kesehatan manusia (Wu *et al.*, 2024). Secara kimia, Hg memiliki sifat konduktivitas listrik yang tinggi namun konduktivitas termal yang rendah, serta dapat berada dalam beberapa keadaan oksidasi, yaitu Hg^0 , Hg^{1+} , dan Hg^{2+} (Georgin *et al.*, 2024).

Sumber pelepasan Hg diklasifikasikan ke dalam dua kelompok utama, yaitu sumber alami dan antropogenik. Emisi dari sumber alami diperkirakan mencapai 5.207 megagram per tahun, termasuk proses remobilisasi Hg yang sebelumnya terendapkan akibat aktivitas alam maupun kegiatan manusia. Sumber alami tersebut terutama berasal dari aktivitas vulkanik dan kebakaran hutan yang melepaskan merkuri ke atmosfer melalui proses geologis dan pembakaran biomassa. Selain itu, sumber antropogenik menyumbang sekitar 2.320 megagram per tahun, dengan kontribusi utama berasal dari industri besi dan baja, semen, peleburan logam non-ferrous, pertambangan emas, industri klor-alkali, serta pembakaran batu bara (Pavithra *et al.*, 2023).

Keberadaan Hg di lingkungan berasal dari proses alami, namun didominasi oleh aktivitas antropogenik dengan sifat persisten, mobilitas tinggi, dan toksisitas yang membahayakan kesehatan manusia. Paparan Hg pada manusia terutama terjadi melalui konsumsi pangan akuatik, khususnya ikan yang cenderung memiliki kadar merkuri lebih tinggi dibandingkan produk hewani lainnya. Selain Hg, ikan juga berpotensi terkontaminasi logam berat lain seperti arsen, kadmium, kromium, dan timbal. Akumulasi Hg dalam tubuh ikan dipengaruhi oleh faktor habitat, kualitas pakan, spesies, usia, ukuran tubuh, serta kondisi perairan seperti pH dan karbon organik terlarut (Dopierala & Fischer, 2023).

Pencemaran Teluk Minamata di Jepang merupakan salah satu peristiwa besar pencemaran merkuri di lingkungan perairan dengan konsentrasi yang sangat tinggi. Kejadian ini berlangsung pada periode 1932–1968 dan memicu munculnya penyakit Minamata sebagai dampak serius terhadap kesehatan manusia. Sebelum terjadinya pencemaran, Teluk Minamata dikenal memiliki sumber daya perikanan yang melimpah, terutama ikan dan kerang yang menjadi sumber pangan utama bagi penduduk pesisir. Perkembangan aktivitas industri yang semakin pesat mengakibatkan pembuangan limbah yang mengandung merkuri ke lingkungan perairan. Pembuangan limbah tersebut

menyebabkan Hg terakumulasi pada berbagai organisme akuatik dan memasuki rantai makanan (Ibrahim & Aris, 2021).

Seafood merupakan sumber pangan bernilai gizi tinggi dengan menyediakan protein yang mudah dicerna, mikronutrien esensial, vitamin, dan asam lemak omega-3. Pertumbuhan pesat sektor perikanan dan akuakultur mendorong peningkatan produksi serta konsumsi *seafood* secara global. Pada tahun 2018, produksi perikanan dunia mencapai 179 juta ton dengan mayoritas dialokasikan untuk konsumsi manusia. Kondisi ini meningkatkan konsumsi ikan dari 9,0 kg per kapita pada 1961 menjadi 20,5 kg per kapita pada 2018. Namun, ikan sebagai bahan pangan berpotensi menjadi media paparan Hg, unsur toksik yang termasuk dalam kelompok bahan kimia paling berbahaya bagi kesehatan manusia dan diidentifikasi sebagai sumber utama paparan Hg oleh *United States Environmental Protection Agency* (US EPA) (Shalders *et al.*, 2022).

Risiko kesehatan terbesar akibat paparan Hg pada manusia terutama berasal dari konsumsi pangan yang terkontaminasi, khususnya *seafood*. Hg yang masuk ke dalam tubuh akan diserap melalui saluran pencernaan dan terdistribusi ke berbagai jaringan melalui aliran darah. Organ utama yang menjadi target akumulasi merkuri meliputi sistem saraf pusat, ginjal, dan hati. Paparan dalam dosis tinggi dapat menimbulkan gangguan serius, seperti gangguan pendengaran dan penglihatan, gangguan bicara, kerusakan sel saraf, hingga kondisi yang berpotensi fatal serta Hg dapat menembus plasenta dan mengganggu perkembangan otak janin (Wu *et al.*, 2024).

Selain memengaruhi sistem saraf, Hg juga berdampak pada sistem kardiovaskular dan kekebalan tubuh manusia. Kelompok rentan seperti anak-anak dan ibu hamil memiliki risiko lebih tinggi terhadap efek kesehatan yang ditimbulkan. Tingkat risiko paparan Hg turut dipengaruhi oleh faktor sosial ekonomi, pola konsumsi *seafood*, serta aktivitas industri dan pertambangan di suatu wilayah. Mekanisme utama toksisitas Hg meliputi peningkatan stres oksidatif, gangguan aktivitas enzim, kerusakan fungsi mitokondria, serta disfungsi respons imun. Variasi tingkat keparahan dampak kesehatan dipengaruhi oleh dosis, lama paparan, serta karakteristik individu yang terpapar (Ray *et al.*, 2025).

Pemenuhan gizi pada ibu hamil berperan penting dalam menunjang pertumbuhan dan perkembangan janin sejak masa intrauterin. Asupan nutrisi harian ibu hamil dan menyusui terutama berasal dari karbohidrat, lemak, dan protein sebagai zat gizi makro. Secara global, sekitar 20% asupan protein hewani penduduk dunia bersumber dari ikan, sehingga menjadikannya salah satu sumber pangan utama. Konsumsi ikan selama kehamilan berkaitan dengan kandungan asam lemak omega-3, khususnya *docosahexaenoic acid* (DHA) dan *eicosapentaenoic acid* (EPA), yang mendukung perkembangan neurologis janin. Rendahnya asupan omega-3 pada ibu hamil berpotensi memengaruhi perkembangan otak, kognitif, penglihatan, serta kemampuan motorik dan bicara bayi (Silalahi *et al.*, 2021).

Setelah trimester pertama, DHA mulai terakumulasi secara pesat di otak hingga usia dua tahun, sehingga konsumsi ikan selama kehamilan menjadi penting untuk mendukung perkembangan neurologis janin. Sebagian besar ibu hamil mengonsumsi ikan secara rutin, namun ikan juga berpotensi mengandung merkuri yang dapat terakumulasi sebagai MeHg dan berdampak negatif pada sistem saraf janin, terutama pada paparan tinggi. Oleh karena itu, pedoman konsumsi merekomendasikan ikan rendah Hg sebanyak 2–3 porsi per minggu serta menghindari ikan berukuran besar. Meskipun banyak penelitian menunjukkan manfaat konsumsi ikan terhadap berat lahir, paparan merkuri yang bersamaan dapat mengurangi atau menutupi efek positif tersebut (Gualtieri *et al.*, 2024).

Seiring dengan tingginya ketergantungan masyarakat terhadap ikan sebagai sumber protein dan asam lemak esensial, isu keamanan pangan menjadi perhatian penting dalam perspektif kesehatan lingkungan. Paparan Hg melalui jalur konsumsi tidak selalu menimbulkan gejala akut, sehingga berpotensi tidak terdeteksi tanpa adanya evaluasi yang terukur. Kondisi tersebut menegaskan perlunya metode penilaian yang mampu menggambarkan tingkat paparan merkuri secara objektif pada individu maupun populasi. Pendekatan ilmiah yang tepat memungkinkan identifikasi risiko sejak tahap awal sebelum menimbulkan dampak kesehatan yang lebih luas. Dengan demikian, penilaian pajanan menjadi penghubung antara manfaat konsumsi ikan dan upaya pencegahan dampak toksik merkuri (Vasconcellos *et al.*, 2022).

Tingkat toksisitas Hg yang tinggi menjadikan penilaian pajanan dalam tubuh manusia sebagai landasan penting dalam pengelolaan risiko kesehatan. Penilaian pajanan pada populasi dilakukan melalui pemantauan lingkungan dengan mengukur kadar Hg pada berbagai media serta estimasi asupan manusia, yang dilengkapi dengan pemantauan biologis menggunakan sampel tubuh. Hg dapat masuk ke dalam tubuh melalui jalur ingesti, inhalasi, dan absorpsi melalui kulit. Tingkat pajanan internal individu dapat digambarkan melalui analisis Hg pada biomarker biologis seperti rambut, darah, urin, plasenta, dan air susu ibu. Dalam kondisi pajanan yang terjadi dalam waktu relatif singkat dengan kadar tinggi, biomarker darah digunakan sebagai indikator utama untuk menggambarkan paparan awal. Pendekatan ini membantu identifikasi paparan akut secara dini dan mendukung penilaian risiko kesehatan secara lebih tepat (Sinaga *et al.*, 2022).

Identifikasi kelompok rentan merupakan bentuk upaya pencegahan dan pengendalian dampak kesehatan dalam pajanan lingkungan dan risiko kesehatan. Ibu hamil merupakan kelompok rentan dalam kesehatan masyarakat karena mengalami perubahan fisiologis, psikologis, dan sosial yang dapat meningkatkan risiko terjadinya gangguan kesehatan. Selama kehamilan, kebutuhan nutrisi meningkat dan sistem tubuh mengalami adaptasi, sehingga kondisi kesehatan ibu menjadi lebih sensitif terhadap berbagai faktor risiko. Kerentanan ini dapat diperberat oleh faktor usia, paritas, status gizi, penyakit penyerta, serta keterbatasan akses terhadap pelayanan kesehatan yang

berkualitas. Selain itu, keterlambatan dalam mengenali masalah kesehatan dan memperoleh penanganan yang tepat turut meningkatkan risiko komplikasi kehamilan dan persalinan (Sari *et al.*, 2024).

Kerentanan ibu hamil tercermin dari masih tingginya angka kematian ibu dan bayi yang dilaporkan oleh *World Health Organization* (WHO) dengan kematian ibu akibat kehamilan dan persalinan masih terjadi dalam jumlah yang tinggi sekitar 840 kematian setiap harinya, dengan 99% kasus ditemukan di negara berkembang. Secara global, Angka Kematian Ibu (AKI) berada pada kisaran 303 per 100.000 kelahiran hidup, sedangkan Angka Kematian Bayi (AKB) tercatat sekitar 41 per 100.000 kelahiran hidup (A. Putri *et al.*, 2024). Di tingkat regional ASEAN, Indonesia termasuk negara dengan tingkat kematian ibu yang masih memerlukan perhatian serius. Hasil *Long Form Survey* Penduduk (LSFP) tahun 2020 mencatat AKI Indonesia sebesar 189 per 100.000 kelahiran hidup. Pada tahun 2022, jumlah kematian ibu mencapai 4.005 kasus, dengan penyebab dominan meliputi penyebab lain (44%), eklampsia (23%), perdarahan (20%), infeksi (5%), COVID-19 (2%), dan belum diketahui (6%) (Kemenkes, 2025).

Menurut Profil Kesehatan Kabupaten atau Kota, Provinsi Sulawesi Selatan menunjukkan AKI tahun 2018 sebesar 139 kasus atau 78,13/100.000 kelahiran hidup. Proporsi kematian ibu didominasi oleh kematian saat persalinan sebesar 64,03%, kematian masa nifas 20,17% dan kematian saat kehamilan 16,78% (Hafid, 2022). Laporan Dinas Kesehatan mencatat AKI sebanyak 195 kasus dari 151.060 kelahiran hidup pada tahun 2021 dan menurun menjadi 174 kasus dari 146.184 kelahiran hidup pada tahun 2022. Angka Kematian Bayi tercatat 844 kasus pada tahun 2021 dan meningkat menjadi 961 kasus pada tahun 2022. Di Kota Makassar pada tahun 2022, AKI tercatat sebanyak 19 kasus dari 24.782 kelahiran hidup. Pada periode yang sama, Angka Kematian Bayi di Kota Makassar mencapai 181 kasus dari 24.782 kelahiran hidup (Karamaha *et al.*, 2025).

Tingginya angka kematian ibu dan bayi tersebut tidak hanya berkaitan dengan faktor obstetri langsung, tetapi juga dipengaruhi oleh faktor tidak langsung, termasuk kondisi lingkungan dan paparan bahan toksik selama kehamilan. Hg mampu menembus sawar plasenta sehingga berpindah dari sirkulasi ibu ke jaringan janin selama kehamilan. Pada ibu hamil, akumulasi merkuri dapat memengaruhi fungsi fisiologis, sistem endokrin, serta keseimbangan biologis yang berperan dalam mempertahankan kehamilan. Pada janin, Hg dapat terdistribusi ke organ-organ vital seperti otak, hati, dan ginjal, terutama sistem saraf pusat yang masih berada pada fase pertumbuhan dan diferensiasi. Kerentanan janin dan bayi baru lahir lebih tinggi dibandingkan orang dewasa akibat ketidakmatangan sawar darah-otak serta keterbatasan mekanisme detoksifikasi dan ekskresi, sehingga paparan Hg berpotensi mengganggu perkembangan neurologis, fungsi organ, dan proses pematangan biologis sejak masa intrauterin (Bjørklund *et al.*, 2019).

Dampak paparan Hg sejak masa prenatal dapat berlanjut hingga periode kanak-kanak. Anak-anak yang terpapar Hg sejak dalam kandungan menunjukkan peningkatan risiko gangguan perkembangan saraf, seperti penurunan kemampuan kognitif, gangguan intelektual dan kognitif, serta keterlambatan perkembangan motorik halus dan kasar. Selain itu, paparan merkuri pada periode awal kehidupan dikaitkan dengan masalah perilaku, termasuk kesulitan belajar dan gangguan neurobehavioral, yang dapat memengaruhi performa akademik anak. Kerentanan ini disebabkan oleh sistem saraf anak yang masih dalam tahap pematangan, sehingga lebih sensitif terhadap efek neurotoksik Hg. Dampak tersebut berpotensi bersifat jangka panjang dan menetap hingga usia sekolah, bahkan memengaruhi kualitas kesehatan dan perkembangan anak di kemudian hari (Kobayashi *et al.*, 2022).

Menurut penelitian Nashra *et al.* (2025), paparan Hg memiliki dampak substansial terhadap kesehatan, terutama pada sektor industri seperti Pertambangan Emas Skala Kecil (PESK). Pekerja di sektor ini mengeluhkan gangguan neurologis seperti, tremor, ataksia, parestesia, dan defisit kognitif akibat paparan uap merkuri selama proses amalgamasi dan pembakaran. Hg umumnya berasal dari aktivitas industri dan kegiatan manusia di daratan yang menghasilkan limbah dan kemudian masuk ke sistem perairan. Studi Setiawan *et al.* (2022) di muara Sungai Bone Bolango menunjukkan akumulasi Hg pada Bivalvia dengan kadar 0,0998–0,8949 ppm, dengan nilai tertinggi di area muara sebagai titik kumpul aliran sungai dari wilayah beraktivitas manusia. Temuan ini diperkuat oleh penelitian Tanri *et al.* (2024) di pesisir Kabupaten Bantaeng kandungan Hg pada kerang kepah sebesar 0,0124–0,0146 mg/g di sekitar kawasan industri nikel, yang telah melampaui baku mutu keamanan pangan Badan Pengawa Obat dan Makanan (BPOM).

Biota perairan berperan sebagai media transfer Hg dari lingkungan ke manusia melalui konsumsi *seafood*. Hasil penelitian Brushett *et al.* (2026), kadar Hg pada sebagian sampel *seafood* berada di bawah batas maksimum 500 ng/g berat basah, namun terdapat pengecualian pada beberapa spesies tertentu. Di Australia, kadar merkuri hiu sirip hitam tercatat paling tinggi dengan rerata 1377 ng/g, sementara *silver gemfish* mencapai 809 ng/g. Di Namlea, *barred queenfish* menunjukkan rerata Hg sekitar 982 ng/g dan *grunter* sebesar 601 ng/g, keduanya melampaui ambang regulasi pangan. MeHg terdeteksi pada hampir semua sampel dari Ambon dan Namlea dengan proporsi yang sangat bervariasi, mulai dari sekitar 20% hingga 100% dari merkuri total.

Menurut Tamale & Loureiro (2020), kadar Hg pada ikan dan *shellfish* pesisir Samudra Hindia dan Laut Merah menunjukkan variasi yang luas dan sangat dipengaruhi oleh tingkat trofik serta ukuran organisme. Spesies ikan predator berukuran besar seperti tuna (*Thunnus spp.*), *swordfish* (*Xiphias gladius*), marlin, dan hiu dilaporkan memiliki konsentrasi Hg tertinggi, dengan rentang nilai sekitar 0,3 hingga >5 mg/kg, bahkan melebihi 10 mg/kg. Kelompok ikan predator menengah, termasuk mahi-mahi (*Coryphaena hippurus*) dan *king mackerel* (*Scomberomorus spp.*), umumnya menunjukkan kadar Hg pada

tingkat menengah, yaitu sekitar 0,3–2 mg/kg. Sebaliknya, ikan pelagik kecil dan non-predator seperti sarden, makarel kecil, teri, serta ikan demersal non-predator memiliki konsentrasi Hg yang jauh lebih rendah, umumnya berada di bawah 0,3 mg/kg. Pada kelompok *shellfish*, yang meliputi udang, kerang, tiram, dan moluska seperti cumi-cumi dan sotong, konsentrasi Hg dilaporkan paling rendah, umumnya <0,1 mg/kg, sehingga relatif lebih rendah risikonya dibandingkan ikan predator berukuran besar.

Studi kohort di Spanyol yang melibatkan 657 ibu hamil menunjukkan bahwa konsumsi *seafood* selama kehamilan tergolong tinggi, dengan median asupan sekitar 430–450 gram per minggu dan melibatkan berbagai jenis ikan, termasuk tuna, sarden, makarel, cod, hake, serta kelompok *shellfish*. Pola konsumsi yang relatif konsisten sepanjang kehamilan ini yang dinilai berdasarkan *food frequency questionnaire* dan dianalisis pada trimester pertama dan ketiga kehamilan, mengingat ikan merupakan salah satu sumber utama Hg dalam diet (Martí *et al.*, 2024). Sejalan dengan penelitian Dack *et al.* (2024) pada 3.972 ibu hamil, hampir seluruh responden memiliki kadar Hg darah yang terdeteksi, dengan rerata sekitar 1,9 µg/L. Dengan demikian, konsumsi *seafood* berkontribusi terhadap variasi kadar Hg darah, khususnya melalui konsumsi ikan putih (3,2%) dan ikan berlemak (2,8%).

Menurut penelitian Khairunnisa (2023), sebanyak 24 ibu hamil yang memiliki frekuensi konsumsi makanan laut tinggi (≥ 3 kali per minggu) menunjukkan bahwa lebih dari 50% di antaranya memiliki kadar Hg darah yang melebihi ambang batas normal, sedangkan pada ibu hamil dengan frekuensi konsumsi makanan laut rendah (< 3 kali per minggu) hanya 19,1% yang memiliki kadar Hg tidak normal. Hasil uji statistik menunjukkan adanya hubungan yang signifikan antara frekuensi konsumsi makanan laut dengan kadar Hg darah ibu hamil di Kota Makassar ($p = 0,014 < 0,05$). Berdasarkan jenis ikan yang paling sering dikonsumsi, terdapat 30 ibu hamil yang lebih sering mengonsumsi ikan berukuran besar dengan proporsi kadar Hg normal dan tidak normal yang seimbang (50:50). Sementara itu, pada 15 ibu hamil yang lebih sering mengonsumsi ikan kecil, sebanyak 80% di antaranya memiliki kadar Hg darah dalam batas normal.

Menurut Rumiantseva *et al.* (2024), sebagian ibu hamil menunjukkan kadar Hg rambut yang melebihi nilai rujukan kesehatan. Dari total 98 responden, sebanyak 22% memiliki kadar Hg rambut di atas 0,58 mg/kg yang dikaitkan dengan peningkatan risiko perinatal. Selain itu, sekitar 6% responden melampaui ambang batas 1 mg/kg sebagaimana direkomendasikan oleh *United States Environmental Protection Agency* (US EPA), sementara satu responden tercatat memiliki kadar Hg sebesar 3,1 mg/kg yang melebihi batas aman yang ditetapkan oleh *World Health Organization* (WHO). Konsentrasi Hg tertinggi ditemukan pada ibu hamil dengan tingkat konsumsi ikan yang tinggi, yakni hingga 5 kg per bulan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penulis tertarik ingin melakukan penelitian terkait hubungan konsumsi *seafood* dengan kadar Hg dalam darah ibu hamil di Kota Makassar tahun 2024.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan maka dapat dirumuskan permasalahan yang akan diteliti, yaitu “Apakah terdapat hubungan konsumsi *seafood* dengan kadar merkuri (Hg) dalam darah ibu hamil di Kota Makassar?”

1.3 Tujuan Penelitian

1.3.1 Tujuan Umum

Untuk menganalisis hubungan konsumsi *seafood* dengan kadar Hg dalam darah ibu hamil di Kota Makassar.

1.3.2 Tujuan Khusus

- a. Untuk menganalisis hubungan usia ibu dengan kadar Hg dalam darah ibu hamil.
- b. Untuk menganalisis hubungan usia kehamilan dengan kadar Hg dalam darah ibu hamil.
- c. Untuk menganalisis hubungan jenis *seafood* yang dikonsumsi dengan kadar Hg dalam darah ibu hamil.
- d. Untuk menganalisis hubungan jumlah *seafood* yang dikonsumsi dengan kadar Hg dalam darah ibu hamil.
- e. Untuk menganalisis hubungan frekuensi konsumsi *seafood* dengan kadar Hg dalam darah ibu hamil.

1.4 Manfaat Penelitian

1.4.1 Manfaat Ilmiah

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memperkaya khasanah ilmu pengetahuan di bidang kesehatan lingkungan, khususnya terkait paparan Hg melalui konsumsi *seafood* pada ibu hamil. Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan kajian biomonitoring Hg sebagai indikator risiko kesehatan ibu dan janin.

1.4.2 Manfaat Institusi

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan bagi institusi kesehatan, khususnya puskesmas dan dinas kesehatan di Kota Makassar, dalam penyusunan kebijakan dan program promotif-preventif terkait keamanan konsumsi *seafood* bagi ibu hamil.

1.4.3 Manfaat Praktisi

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi rujukan bagi tenaga kesehatan dalam memberikan edukasi kepada ibu hamil mengenai konsumsi *seafood* yang aman selama kehamilan. Selain itu,

penelitian ini dapat meningkatkan kewaspadaan terhadap potensi paparan Hg serta mendorong upaya pencegahan dini guna melindungi kesehatan ibu dan perkembangan janin.

1.5 Kajian Teori

1.5.1 Tinjauan Umum Tentang Merkuri Sebagai Logam Berat

1.4.3.1 Definisi Merkuri

Merkuri atau raksa berasal dari istilah Latin *hydrargyrum* (Hg), sementara dalam bahasa Inggris dikenal sebagai *mercury* yang merujuk pada sifatnya yang mudah menguap. Secara fisik, Hg merupakan logam cair yang tidak berbau, berkilau, tidak larut dalam air, serta memiliki tingkat mobilitas yang tinggi. Pada fase cair, Hg berwarna putih keperakan, sedangkan pada fase padat tampak berwarna abu-abu. Hg bersifat sebagai penghantar listrik yang baik namun memiliki kemampuan penghantaran panas yang rendah. Selain itu, unsur ini memiliki potensi oksidasi yang rendah, hanya bereaksi dengan oksigen pada suhu tinggi membentuk Hg_0 , serta membeku pada suhu sekitar $-38,87\text{ }^{\circ}\text{C}$ (A. Sari *et al.*, 2022).

Dalam sistem unsur periodik, Hg memiliki nomor atom 80 dengan bobot atom yang relatif tinggi. Secara alami, Hg umumnya diperoleh dari bijih sinabar (HgS) melalui proses pemanggangan dengan oksigen yang menghasilkan merkuri bebas dan sulfur dioksida, kemudian dikondensasikan hingga diperoleh logam cair murni. Hg cair ini banyak dimanfaatkan dalam berbagai kegiatan manusia, termasuk pada aktivitas penambangan emas tradisional (Rosita & Mayaserli, 2025). Selain itu, Hg tergolong sebagai zat beracun yang tersebar luas di lingkungan dan dapat ditemukan dalam beberapa bentuk kimia, meliputi merkuri elemental (Hg^0), merkuri anorganik (Hg^+ dan Hg^{2+}), serta senyawa organomerkuri seperti metilmerkuri dan dimetilmerkuri yang memiliki tingkat toksisitas tinggi (Niane *et al.*, 2019).

Hg merupakan logam berat dengan tingkat toksisitas tinggi yang menimbulkan risiko serius bagi ekosistem perairan dan kesehatan manusia dibandingkan logam berat lainnya. Sifat Hg yang persisten dan tidak dapat terdegradasi secara biologis menyebabkan unsur ini mudah terakumulasi di lingkungan perairan. Salah satu kasus pencemaran Hg yang paling terdokumentasi terjadi pada tahun 1956 di Teluk Minamata, Jepang, akibat pembuangan limbah industri kimia oleh Chisso Co. Ltd. Akumulasi Hg pada ikan dan kerang di wilayah tersebut menyebabkan paparan melalui rantai makanan dan berdampak serius terhadap kesehatan masyarakat (Pratiwi, 2020).

1.4.3.2 Sumber-Sumber Merkuri

Hg dilepaskan ke lingkungan melalui mekanisme alami, meliputi pelapukan batuan, kebakaran hutan, dan aktivitas vulkanik, serta melalui kegiatan yang dipicu oleh aktivitas manusia. Sumber antropogenik utama mencakup pembakaran bahan bakar fosil, proses industri klor-alkali, kegiatan pertambangan, dan peleburan logam. Dinamika Hg di lingkungan, termasuk proses pelepasan, pengendapan, dan peredarannya kembali, dipengaruhi oleh berbagai faktor alamiah. Faktor tersebut meliputi variabilitas iklim, interaksi Hg dengan bahan organik melalui proses adsorpsi, serta masukan mineral akibat erosi tanah (Li *et al.*, 2024).

Merkuri anorganik dapat mengalami transformasi menjadi senyawa organik seperti MeHg yang bersifat stabil dan mudah terakumulasi dalam rantai makanan. Hingga sekitar tahun 1970, MeHg banyak dimanfaatkan sebagai agen pengendali jamur pada biji gandum. Paparan Hg pada populasi umum terutama terjadi melalui konsumsi pangan, dengan ikan sebagai sumber utama MeHg, diikuti oleh penggunaan amalgam gigi. Senyawa Hg juga dimanfaatkan sebagai pestisida di sektor pertanian serta sebagai katalis dalam industri kimia. Penyebaran Hg di lingkungan tanah, perairan, dan udara dapat terjadi melalui pembuangan limbah industri, dan di perairan Hg dapat berikatan dengan klor membentuk HgCl yang kemudian dimetilasi oleh mikroorganisme sedimen hingga terakumulasi pada ikan (Irianti *et al.*, 2017).

1.5.2 Tinjauan Umum tentang Jalur Paparan Merkuri Memasuki Tubuh

Hg merupakan logam berat yang dikenal memiliki sifat toksik dan dapat menimbulkan dampak kesehatan pada manusia. Dalam lingkungan dan sistem biologis, Hg ditemukan dalam beberapa bentuk kimia, yaitu merkuri elemental, merkuri anorganik, dan merkuri organik. Perbedaan bentuk kimia ini sangat memengaruhi bagaimana Hg masuk ke dalam tubuh serta bagaimana efek toksiknya muncul. Merkuri organik, khususnya MeHg sebagai bentuk yang paling berbahaya karena mudah diserap oleh tubuh dan memiliki kemampuan distribusi yang luas ke jaringan tubuh (Genchi *et al.*, 2017).

Hg⁰ terutama diserap melalui saluran pernapasan, dengan tingkat absorpsi uap merkuri pada manusia dewasa berkisar 69–85%, sedangkan absorpsi melalui saluran cerna sangat rendah ($\pm 0,04\%$) dan absorpsi melalui kulit terjadi dalam jumlah terbatas. Setelah terhirup, Hg terdistribusi ke seluruh tubuh dengan konsentrasi tertinggi di ginjal, serta menunjukkan efek lintasan awal pada jantung dan otak, dan dapat ditransfer dari ibu ke janin maupun ke bayi melalui ASI. Hg⁰ yang terserap

dengan cepat dioksidasi menjadi Hg bervalensi dua (Hg^{2+}) di dalam darah dan jaringan, terutama melalui jalur yang dikatalisis oleh enzim katalase. Ekskresi Hg terjadi melalui udara pernapasan sebagai Hg^0 yang tidak termetabolisme serta melalui urin dan feses sebagai Hg^{2+} , dengan waktu paruh eliminasi terminal pada manusia diperkirakan berkisar antara 30 hingga 90 hari (ASTDR, 2022).

Pajanan Hg pada manusia dapat diidentifikasi melalui pemeriksaan darah, urin, rambut, dan Air Susu Ibu (ASI). Kadar Hg dalam darah mencerminkan pajanan yang relatif baru, dengan konsentrasi yang menurun secara cepat setelah pajanan dihentikan, sehingga indikator ini kerap digunakan untuk menilai pajanan Hg yang bersumber dari makanan. Pajanan Hg dapat menimbulkan dampak kesehatan akut maupun kronis, meliputi gangguan fungsi ginjal dan hati, sistem pernapasan dan pencernaan, serta sistem saraf pusat, yang pada kondisi berat dapat berujung pada kejang hingga kematian. Pada ibu menyusui, Hg dalam darah dapat masuk ke sirkulasi kelenjar payudara dan terakumulasi dalam ASI. Pajanan merkuri melalui ASI berpotensi terakumulasi dalam tubuh bayi, mengingat bayi memiliki kerentanan tinggi terhadap logam berat, dengan risiko utama berupa efek hematotoksik, neurotoksik, dan nefrotoksik meskipun pada konsentrasi yang relatif rendah (Iwan & Niken, 2020).

Mekanisme toksisitas Hg berkaitan dengan akumulasi Hg di dalam sel dan jaringan. Uap Hg^0 yang terhirup akan teroksidasi menjadi Hg^{2+} di dalam darah oleh enzim katalase, kemudian konjugat Hg^{2+} -tiol dapat mencapai sistem saraf pusat dan menimbulkan efek neurotoksik, dengan paru-paru dan otak sebagai target utama. Merkuri anorganik didistribusikan ke jaringan seperti otak, ginjal, dan eritrosit melalui transporter membran *organic anion transporter* (OAT1) dan *amino acid transporter system* (LAT1), serta dapat menghambat sistem antioksidan sel, menginduksi stres oksidatif, gangguan fungsi enzim, dan kardiotoxik. Sementara itu, MeHg terutama menargetkan otak dan ginjal, dengan masuk ke jaringan melalui transporter yang mengenali konjugat MeHg-tiol. Afinitas tinggi MeHg terhadap gugus tiol menyebabkan gangguan fungsi berbagai protein penting, sehingga berkontribusi besar terhadap neurotoksisitas (Kang *et al.*, 2024).

MeHg dapat berpindah dari ibu ke janin dan bayi, karena senyawa ini ditemukan dalam darah tali pusat, plasenta, dan ASI manusia. Penelitian pada hewan menunjukkan bahwa transfer terjadi baik melalui plasenta selama kehamilan maupun melalui ASI saat menyusui, dengan proporsi transfer laktasi lebih besar dibandingkan transfer intrauterin. Setelah mencapai janin, MeHg terdistribusi ke organ vital seperti otak, hati, dan ginjal, dengan kadar tertinggi umumnya di hati, serta konsentrasi di otak janin yang dapat melebihi kadar di darah janin maupun otak ibu. Pada otak janin, akumulasi tertinggi ditemukan di

serebrum, diikuti serebelum dan hipokampus, yang menunjukkan kerentanan sistem saraf pusat. Mekanisme perpindahan ini diduga melalui pengangkutan MeHg yang terikat dengan sistein ($\text{CH}_3\text{Hg-S-Cys}$) yang menyerupai asam amino, sehingga mudah melewati sawar plasenta (ASTDR, 2022).

Paparan terbesar pada manusia adalah dalam bentuk merkuri organik yaitu MeHg. Inhalasi MeHg diabsorpsi kurang lebih sama dengan efisiensi Hg^0 . Dalam makanan seperti ikan yang mengandung MeHg akan diabsorpsi secara efisien oleh usus halus, begitu juga kontak dengan kulit akan diabsorpsi secara efisien. Frekuensi, jumlah dan jenis ikan yang konsumsi menentukan jumlah Hg yang masuk ke dalam tubuh. MeHg adalah bentuk yang larut dalam air dan didistribusikan dengan cepat ke seluruh tubuh dan di dalam darah terikat pada gugus sulfhidril. Depositnya dapat ditemukan di otak, hati, ginjal, plasenta, janin dan sumsum tulang. MeHg dari ibu akan cepat menembus sawar darah plasenta, terdistribusi di dalam darah dan akan terikat pada hemoglobin di dalam eritrosit. Kadar MeHg dalam darah janin akan ditemukan lebih tinggi dari kadar merkuri dalam darah ibunya karena janin tidak dapat mengekskresikan MeHg (Ekawanti & Priyambodo, 2020).

Senyawa Hg yang terakumulasi menimbulkan efek toksik dengan merusak berbagai organel dan komponen sel, termasuk mitokondria, inti sel, lisosom, membran sel, enzim, serta biomolekul seperti protein dan DNA. Merkuri berikatan dengan protein dan DNA sehingga menghambat sintesis protein, aktivitas enzim, fungsi asam nukleat, serta mempercepat stres oksidatif melalui peningkatan ROS dan penghambatan enzim antioksidan penting seperti thioredoxin reductase. Selain itu, Hg mengganggu homeostasis sel dengan mengaktifkan jalur inflamasi dan apoptosis (NF- κ B, p53, dan JNK), memicu pelepasan sitokin proinflamasi, serta menyebabkan inflamasi kronis dan fibrosis, khususnya pada ginjal. Paparan Hg juga memengaruhi ekspresi gen melalui perubahan metilasi DNA dan asetilasi histon, serta merusak struktur sitoskeleton dan integritas epitel tubulus ginjal. Secara klinis, disfungsi ginjal akibat paparan Hg ditandai dengan proteinuria, peningkatan ureum dan kreatinin darah, serta indikator stres oksidatif akibat akumulasi merkuri di jaringan ginjal (Naik & Gamare, 2025).

1.5.3 Tinjauan Umum Tentang Ibu Hamil

1.5.3.1 Definisi Kehamilan

Kehamilan didefinisikan sebagai kondisi fisiologis ketika seorang perempuan mengandung hasil konsepsi di dalam rahim. Pada situasi tertentu, kehamilan dapat melibatkan lebih dari satu hasil konsepsi, seperti pada kehamilan kembar atau multipel. Secara biologis, masa kehamilan pada manusia berlangsung sekitar 40 minggu, dihitung sejak hari pertama haid terakhir hingga persalinan, atau sekitar 38 minggu sejak terjadinya

pembuahan (Arum *et al.*, 2021). Dalam istilah medis, perempuan yang sedang mengandung disebut gravida, sedangkan hasil konsepsi pada tahap awal disebut embrio dan selanjutnya disebut janin hingga kelahiran. Istilah primigravida digunakan untuk perempuan yang mengalami kehamilan pertama, sedangkan multigravida merujuk pada perempuan yang telah mengalami dua kali kehamilan atau lebih (Wulandari *et al.*, 2023).

Kehamilan dipandang sebagai suatu rangkaian proses biologis yang berlangsung secara bertahap dan saling berkaitan. Proses ini diawali oleh ovulasi, dilanjutkan dengan pertemuan ovum dan spermatozoa, terjadinya konsepsi, serta pertumbuhan zigot. Tahap berikutnya mencakup implantasi hasil konsepsi pada dinding uterus dan pembentukan plasenta sebagai penunjang utama kehidupan janin (Marice & Astuti, 2021). Perkembangan selanjutnya berlangsung hingga mencapai usia kehamilan cukup bulan atau aterm, yaitu sekitar 280–300 hari. Meskipun bersifat fisiologis, setiap kehamilan tetap mengandung risiko, dan sekitar 15% kasus dapat berkembang menjadi komplikasi yang berpotensi mengancam kesehatan ibu (Efendi *et al.*, 2022).

Selama masa kehamilan, tubuh ibu mengalami berbagai perubahan fisiologis dan psikologis sebagai bentuk adaptasi terhadap pertumbuhan janin. Perubahan ini melibatkan sejumlah sistem tubuh, antara lain sistem kardiovaskular, pernapasan, hormonal, gastrointestinal, dan muskuloskeletal. Adaptasi tersebut bertujuan mendukung kebutuhan metabolik ibu dan janin. Pada sistem muskuloskeletal, perubahan yang terjadi meliputi perubahan postur tubuh dan peningkatan berat badan secara bertahap sejak trimester pertama hingga trimester ketiga. Kondisi ini sering menimbulkan keluhan ketidaknyamanan, terutama nyeri punggung, yang banyak dialami oleh ibu hamil (Rohmaniya & Mardliana, 2023).

1.5.3.2 Usia Kehamilan

Menurut Arum *et al.* (2021), masa kehamilan berlangsung sekitar sembilan bulan berdasarkan penanggalan internasional atau setara dengan kurang lebih 40 minggu. Dalam praktik kebidanan, durasi tersebut juga dikenal sebagai sepuluh bulan menurut penanggalan luar. Secara klinis, kehamilan diklasifikasikan ke dalam tiga periode yang disebut trimester. Trimester pertama berlangsung sejak minggu pertama hingga minggu ke-13 kehamilan. Trimester kedua mencakup minggu ke-14 hingga ke-26, sedangkan trimester ketiga dimulai pada minggu ke-27 hingga kehamilan mencapai cukup bulan pada usia 38–40 minggu.

a. Usia Kehamilan Trimester I (0–3 Bulan/ 1–13 Minggu)

Trimester pertama kehamilan, yaitu usia 0–13 minggu, ditandai dengan proses awal pertumbuhan dan perkembangan hasil pembuahan. Pada fase ini, perkembangan kehamilan dibagi ke dalam tiga tahap, yaitu fase ovum, fase embrio, dan fase janin. Fase ovum berlangsung sejak pembuahan hingga implantasi pada dinding uterus dan ditandai dengan pembelahan sel yang membentuk zigot selama sekitar 10–14 hari. Fase embrio terjadi pada usia kehamilan 2–8 minggu dan ditandai dengan pembentukan organ-organ utama tubuh. Selanjutnya, fase janin dimulai pada usia 8 minggu hingga kelahiran, dengan fokus utama pada proses pertumbuhan dan pematangan struktur yang telah terbentuk.

b. Usia Kehamilan Trimester II (4–6 Bulan/14–26 Minggu)

Trimester kedua kehamilan berlangsung pada usia 14–26 minggu dan ditandai dengan percepatan pertumbuhan janin. Pada periode ini, denyut jantung janin sudah dapat didengar, gerakan janin semakin jelas, serta panjang dan berat janin meningkat secara signifikan. Panjang janin umumnya mencapai sekitar 30 cm dengan berat kurang lebih 600 gram. Selama trimester ini, tenaga kesehatan melakukan pemantauan rutin meliputi pemeriksaan berat badan, tekanan darah, urin, serta denyut jantung ibu dan janin. Pemeriksaan tersebut bertujuan mendeteksi dini adanya gangguan kesehatan yang dapat memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan janin.

c. Usia Kehamilan Trimester III (7–9 Bulan/27–40 Minggu)

Trimester ketiga berlangsung pada usia kehamilan 27–40 minggu dan ditandai dengan penyempurnaan bentuk serta fungsi organ janin. Pada fase ini, berat janin dapat mencapai sekitar 2,5 kg dan seluruh sistem organ telah berfungsi dengan baik untuk menunjang kehidupan di luar rahim. Perubahan fisik dan fisiologis pada ibu semakin nyata seiring dengan bertambahnya usia kehamilan. Oleh karena itu, frekuensi pemeriksaan kehamilan pada trimester ini dilakukan lebih sering, umumnya hingga dua kali dalam satu minggu. Pemantauan intensif tersebut bertujuan mengawasi kondisi janin, kesiapan persalinan, serta kondisi fisik dan psikologis ibu guna mencegah komplikasi menjelang persalinan.

1.5.3.3 Usia Ibu

Usia dipahami sebagai ukuran lamanya waktu hidup seseorang sejak dilahirkan hingga waktu tertentu. Faktor usia memiliki peranan penting dalam menentukan tingkat risiko selama kehamilan, baik pada usia yang terlalu muda maupun terlalu tua. Kehamilan pada rentang usia tersebut berpotensi meningkatkan risiko komplikasi serta kematian ibu dan bayi. Secara umum, usia ideal untuk menjalani kehamilan pertama berada pada rentang usia 20 tahun. Rentang usia 20–35 tahun dipandang sebagai periode paling aman karena kondisi fisik ibu relatif optimal, fungsi rahim memadai, serta kesiapan mental dalam menjalani kehamilan dan perawatan bayi lebih matang (Putri & Warnaini, 2023).

Usia ibu hamil <20 tahun merupakan kelompok usia kehamilan yang memiliki risiko kesehatan lebih tinggi, yang dapat memicu terjadinya keguguran, anemia, persalinan prematur, Bayi Berat Lahir Rendah (BBLR), serta berbagai komplikasi kehamilan lainnya. Hal ini disebabkan oleh kondisi ibu yang secara biologis dan fisiologis belum sepenuhnya matang, sehingga belum mampu menyediakan cadangan nutrisi yang optimal bagi pertumbuhan dan perkembangan janin. Selain itu, kehamilan pada usia muda (<20 tahun) sering menimbulkan rasa takut dan kecemasan terhadap proses kehamilan dan persalinan karena ibu belum siap secara mental untuk memiliki anak, serta organ reproduksi yang belum berkembang secara optimal untuk menunjang kehamilan (Marnovy *et al.*, 2024).

Dibandingkan dengan usia reproduktif optimal 20–35 tahun, ibu hamil berusia di atas 35 tahun memiliki risiko kehamilan yang lebih tinggi. Penurunan fungsi alat reproduksi pada usia ini dapat memicu berbagai komplikasi selama kehamilan dan persalinan. Risiko yang dapat muncul meliputi persalinan lama, perdarahan, serta meningkatnya kemungkinan melahirkan bayi dengan kelainan bawaan. Selain itu, kualitas sel telur yang menurun pada usia lanjut turut meningkatkan risiko kehamilan hingga empat kali lipat dibandingkan usia lebih muda. Kehamilan pada usia di atas 35 tahun juga berkaitan dengan meningkatnya kejadian hipertensi, preeklamsia, diabetes melitus, anemia, serta risiko kelahiran prematur dan BBLR (Ratnaningtyas & Indrawati, 2023).

1.5.4 Tinjauan Umum Tentang Toksisitas Merkuri Pada Ibu Hamil

Hg merupakan logam berat yang bersifat toksik dan dapat menimbulkan berbagai dampak merugikan bagi kesehatan manusia, terutama pada fungsi hati dan ginjal serta sistem enzimatik tubuh. Paparan Hg dalam jangka panjang diketahui berkontribusi terhadap gangguan kesehatan kronis. Tingkat toksisitas Hg dipengaruhi oleh

bentuk kimia, jalur masuk ke dalam tubuh, serta lamanya paparan. Merkuri dapat masuk melalui sistem pernapasan, pencernaan, dan penetrasi kulit. Setelah masuk ke dalam tubuh, Hg akan terakumulasi pada jaringan tertentu seperti ginjal, hati, kuku, jaringan lemak, dan rambut, yang dapat menyebabkan gangguan sistem saraf, dengan batas maksimal kadar merkuri dalam darah yang ditetapkan oleh US EPA sebesar 5,8 µg/L (Kristianingsih, 2018).

Pada ibu hamil, Hg bersifat bioakumulatif dan dapat terdistribusi melalui aliran darah sehingga menimbulkan dampak sistemik. Paparan Hg selama kehamilan berpotensi mengganggu keseimbangan redoks tubuh akibat ketidakseimbangan antara oksidan dan antioksidan. Kondisi tersebut dapat memicu stres oksidatif yang berdampak pada jaringan-jaringan sensitif selama kehamilan. Selain itu, paparan Hg dikaitkan dengan perubahan respons inflamasi yang berperan penting dalam homeostasis biologis ibu hamil. Gangguan-gangguan ini secara klinis dapat meningkatkan risiko terjadinya luaran kehamilan yang kurang menguntungkan (Pizent, 2025).

Dampak Hg pada kehamilan menjadi lebih serius karena kemampuannya melintasi plasenta sehingga paparan tidak hanya terjadi pada ibu, tetapi juga pada janin. Secara mekanistik, MeHg diketahui dapat masuk ke dalam sel plasenta melalui transporter *Large Neutral Amino Acid Transporter 1* (LAT1), yaitu transporter asam amino netral berukuran besar. Transporter ini berperan dalam pengangkutan MeHg sekaligus berkaitan dengan sistem pertahanan antioksidan sel plasenta. Akibatnya, plasenta dapat mengalami stres biologis akibat paparan Hg. Kondisi tersebut berpotensi mengganggu fungsi pertukaran nutrisi dan oksigen serta regulasi hormonal yang penting selama kehamilan (Granitzer *et al.*, 2021).

Paparan Hg selama masa kehamilan berhubungan erat dengan gangguan pertumbuhan janin dan luaran kelahiran yang tidak optimal. Akumulasi Hg dalam tubuh ibu dapat memengaruhi proses pembentukan dan pertumbuhan janin sehingga meningkatkan risiko terjadinya BBLR dan kelahiran prematur. Besarnya dampak yang ditimbulkan sangat dipengaruhi oleh waktu terjadinya paparan selama kehamilan serta kadar Hg yang terakumulasi dalam jaringan tubuh ibu. Selain itu, status gizi ibu, kondisi kesehatan secara umum, serta paparan logam berat lain secara bersamaan dapat memperberat efek toksik Hg terhadap janin. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa janin merupakan kelompok yang sangat rentan terhadap paparan Hg, sehingga paparan sekecil apapun selama kehamilan berpotensi menimbulkan dampak yang merugikan (Li *et al.*, 2024).

Selain memengaruhi pertumbuhan fisik, Hg merupakan neurotoksik kuat terutama pada masa perkembangan janin. Paparan Hg prenatal dalam dosis tinggi dan jangka panjang dapat menyebabkan

gangguan neurologis berat seperti *cerebral palsy*. Sementara itu, paparan pada dosis yang lebih rendah dapat mengakibatkan keterlambatan perkembangan neurologis dan penurunan fungsi kognitif. Paparan Hg setelah kelahiran (*postnatal*) dengan kadar rendah dapat menimbulkan parestesia. Pada paparan sedang hingga tinggi, Hg dapat menyebabkan gangguan penglihatan, pendengaran, gangguan ekstrapiramidal, hingga kejang tipe klonik (Ekawanti & Priyambodo, 2020).

1.5.5 Tinjauan Umum Tentang Konsumsi *Seafood* pada Ibu Hamil

Seafood seperti ikan, *moluska*, dan *krustasea* merupakan sumber pangan bernilai gizi tinggi yang menyediakan protein, lipid sehat, serta berbagai vitamin dan mineral esensial, terutama asam lemak omega-3 rantai panjang. Komponen gizi tersebut berperan penting dalam mendukung fungsi fisiologis dan menjaga kesehatan tubuh. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa konsumsi *seafood* secara teratur berkontribusi terhadap status kesehatan yang lebih baik pada seluruh kelompok usia. Konsumsi ikan diketahui memiliki hubungan berbanding terbalik dengan kejadian penyakit kardiovaskular dan serebrovaskular. Selain itu, pola konsumsi ini juga dikaitkan dengan penurunan risiko diabetes, sindrom metabolik, obesitas, serta gangguan neurologis (Durazzo *et al.*, 2022).

Walaupun *seafood* memiliki nilai gizi yang tinggi, konsumsinya juga berpotensi menjadi jalur utama paparan manusia terhadap berbagai kontaminan kimia lingkungan. Logam berat seperti Hg, Cd, Pb, dan As menimbulkan kekhawatiran karena sifat toksik, daya persistensi, serta kemampuannya terakumulasi dan termagnifikasi dalam rantai makanan perairan. Kontaminan yang berasal dari proses alami maupun aktivitas antropogenik dapat terkonsentrasi dalam organisme laut dan berpindah ke manusia melalui konsumsi. Paparan ini berisiko menimbulkan dampak kesehatan baik akut maupun kronis. Oleh sebab itu, konsumsi *seafood* perlu dikelola secara bijak dengan mempertimbangkan keseimbangan antara manfaat gizi dan potensi risiko kesehatan berdasarkan jenis, sumber, dan frekuensi konsumsinya (Barone *et al.*, 2022).

1.5.5.1 *Fish* (Ikan)

Ikan merupakan sumber daya pangan yang melimpah dan mudah diperoleh di Indonesia sehingga berperan penting dalam menjamin ketersediaan pangan nasional. Kandungan protein ikan yang mencapai 20–30% menjadikannya sumber protein hewani berkualitas tinggi dengan tingkat pencernaan yang baik. Selain itu, ikan menjadi pilihan pangan yang ekonomis dibandingkan sumber protein hewani lain seperti daging sapi dan ayam. Berbagai bagian ikan mengandung nutrisi esensial, termasuk asam lemak omega-3, vitamin, mineral, dan senyawa bioaktif yang berkontribusi terhadap pencegahan penyakit kardiovaskular (Rahma *et al.*, 2024).

Ikan laut memiliki manfaat penting bagi kesehatan tubuh karena merupakan sumber protein hewani berkualitas tinggi yang berperan dalam pemenuhan kebutuhan nutrisi. Selain mengandung omega-3, ikan laut mengandung asam lemak rantai panjang esensial (omega-6) yang mendukung pertumbuhan serta pemeliharaan kesehatan tubuh. Kandungan protein ikan relatif lebih tinggi dibandingkan beberapa sumber protein hewani lain dan memiliki komposisi asam amino esensial yang lengkap sehingga mudah dicerna. Ikan juga kaya akan mineral seperti kalsium dan fosfor yang berperan dalam pembentukan tulang, serta zat besi yang penting dalam pembentukan hemoglobin darah. Selain mineral, produk berbahan dasar ikan mengandung berbagai vitamin seperti A, D, E, dan B12 serta senyawa bioaktif yang mendukung fungsi fisiologis tubuh (Piranti *et al.*, 2024).

Menurut Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP), sekitar 63% produksi perikanan dimanfaatkan sebagai sumber protein hewani bagi masyarakat. Konsumsi ikan di Indonesia didominasi oleh ikan pelagis kecil (Taher *et al.*, 2015). Pelagis terbagi menjadi besar dan kecil, antara lain selar (*Selaroides leptolepis*), layang (*Decapterus spp.*), kembung (*Rastrelliger spp.*), tembang (*Sardinella fimbriata*), tongkol (*Euthynnus affinis*), tenggiri (*Scomberomorus commerson*), lemuru (*Sardinella lemuru*), japuh (*Dussumieria acuta*), teri (*Stolephorus spp.*), serta ikan terbang (famili *Exocoetidae*). Selain itu, kelompok ikan pelagis besar yang juga banyak dikonsumsi meliputi cakalang (*Katsuwonus pelamis*), tuna sirip kuning (*Thunnus albacares*), dan marlin (*Makaira spp.*) (Meriyan *et al.*, 2023).

Dalam ekosistem perairan, Hg dapat mengalami transformasi biologis dan kimia yang memengaruhi toksisitasnya. Merkuri anorganik dimetilasi oleh bakteri anaerob di sedimen dan perairan menjadi metilmerkuri yang mudah terakumulasi dalam biota akuatik. Senyawa ini masuk ke rantai makanan dan mengalami peningkatan konsentrasi melalui proses bioakumulasi dan biomagnifikasi, terutama pada organisme dengan tingkat trofik tinggi. Ikan predator dan mamalia laut cenderung mengandung kadar merkuri yang lebih besar dibandingkan organisme pada tingkat trofik rendah. Paparan manusia terutama terjadi melalui konsumsi ikan dan *seafood* yang terkontaminasi, sementara merkuri juga dapat bersirkulasi kembali ke atmosfer melalui proses volatilisasi sebagai bagian dari siklus biogeokimia (Wu *et al.*, 2024).

Ikan predator puncak seperti *king mackerel*, *bass*, *pike*, *swordfish*, tuna, *marlin*, dan hiu diketahui memiliki kadar Hg yang tinggi akibat proses bioakumulasi dan biomagnifikasi, dengan

konsentrasi berkisar sekitar 1,0 ppm hingga lebih dari 4 ppm, terutama pada hiu. Temuan studi di Korea Selatan dan Baja California menunjukkan sebagian besar sampel daging hiu mengandung Hg di atas 1 ppm, sementara data US FDA melaporkan kadar Hg pada ikan predator besar berada pada rentang 0,398–0,975 ppm. Apabila konsentrasi Hg melebihi 0,5 ppm, konsumsi ikan dalam jumlah rata-rata berpotensi melampaui dosis asupan yang direkomendasikan. Berdasarkan ketentuan *China's Maximum Levels for Contaminants*, batas maksimum Hg yang masih dinilai aman dalam ikan adalah 1,0 mg/kg (Vallentyne *et al.*, 2022).

Rekomendasi mengenai frekuensi dan jumlah konsumsi ikan ditetapkan secara berbeda oleh otoritas kesehatan di berbagai negara dan wilayah. Di Amerika Serikat, HHS dan EPA melaporkan bahwa hampir semua ikan dan kerang mengandung Hg dalam kadar rendah, sehingga diperlukan pengaturan konsumsi untuk menekan risiko paparan. USDA dan HHS kemudian menganjurkan konsumsi *seafood* maksimal 8 ons atau sekitar 227 g per minggu bagi masyarakat umum. EPA juga menetapkan ambang batas kadar Hg dalam darah sebesar 5,8 µg/L. Di Inggris, *Food Standards Agency* merekomendasikan kelompok rentan seperti ibu hamil, perempuan usia subur, dan anak di bawah 16 tahun untuk menghindari ikan predator besar seperti *swordfish* dan membatasi konsumsi tuna hingga dua porsi per minggu (Chen & Dong, 2022).

Asupan ikan pada masa kehamilan berkontribusi dalam menurunkan risiko persalinan prematur serta meningkatkan berat lahir melalui peran asam lemak omega-3 yang menghambat aktivitas hormon pemicu persalinan dini. Meskipun demikian, interaksi antara kandungan asam lemak tak jenuh dan merkuri dalam ikan merupakan permasalahan yang kompleks. Sejumlah studi menunjukkan bahwa ikan budidaya dapat memengaruhi variasi kadar PUFA dan merkuri, dengan temuan bahwa manfaat n-3 PUFA masih lebih dominan dibandingkan risiko MeHg. Kondisi ini menegaskan pentingnya kajian menyeluruh terkait sumber pakan, pertumbuhan, serta posisi trofik ikan dalam ekosistem perairan disertai analisis risiko-manfaat. Selain itu, keberadaan selenium dalam produk laut diketahui memiliki potensi sebagai agen detoksifikasi yang dapat menekan efek toksik Hg melalui pembentukan kompleks kimia (Li *et al.*, 2024).

Pedoman konsumsi ikan bagi ibu hamil di berbagai negara menekankan pendekatan selektif berdasarkan jenis dan jumlah ikan yang dikonsumsi untuk menyeimbangkan manfaat gizi dan risiko paparan kontaminan. Sebagian besar panduan

internasional mengklasifikasikan ikan menjadi *Choices to avoid*, *Best choices*, dan *Good choices*, dalam menilai paparan merkuri yang terkandung didalamnya. Jenis ikan yang dianjurkan untuk dihindari meliputi ikan predator puncak seperti hiu (*shark*), marlin (*marlin*), swordfish (*swordfish*), king mackerel (*Scomberomorus cavalla*), dan tilefish. Ikan yang perlu dibatasi konsumsinya terutama adalah tuna, baik tuna albakora atau tuna putih (*albacore/white tuna*), tuna sirip kuning (*yellowfin tuna*), maupun tuna segar, dengan pembatasan jumlah porsi per minggu. Sementara itu, ikan yang relatif aman dikonsumsi oleh ibu hamil mencakup salmon, sarden, teri, makarel kecil, lele, nila, ikan kod (*cod*), haddock, serta tuna kaleng ringan (*canned light tuna*), yang umumnya direkomendasikan dalam jumlah 2–3 porsi per minggu (Taylor et al., 2018).

1.5.5.2 Shellfish (Non Ikan)

Menurut Kumar (2024), *Shellfish* merupakan kelompok hewan akuatik yang banyak dimanfaatkan sebagai sumber pangan dan memiliki nilai ekonomi tinggi. Shellfish umumnya hidup di perairan laut maupun tawar dan dibedakan dari ikan karena tidak memiliki tulang belakang. Secara struktural, shellfish memiliki tubuh lunak yang dilindungi oleh cangkang keras atau rangka luar (eksoskeleton). Dari aspek gizi, shellfish mengandung protein berkualitas tinggi, mineral penting seperti seng, selenium, dan zat besi, serta asam lemak esensial, namun juga berpotensi mengakumulasi kontaminan lingkungan seperti logam berat apabila berasal dari perairan tercemar. Berdasarkan karakteristik biologisnya, shellfish diklasifikasikan ke dalam dua kelompok utama, yaitu moluska dan krustasea.

1. Moluska

Moluska merupakan jenis *shellfish* yang memiliki tubuh lunak tanpa rangka internal dan umumnya dilindungi oleh cangkang. Kelompok ini dibagi menjadi tiga jenis utama berdasarkan bentuk dan jumlah cangkangnya. Pertama, *univalvia*, yaitu moluska dengan satu cangkang, seperti keong dan siput laut. Kedua, *bivalvia*, yaitu *moluska* dengan dua cangkang yang saling berengsel, contohnya kerang, tiram, dan remis. *Bivalvia* merupakan jenis *moluska* yang paling umum dikonsumsi karena dagingnya relatif lembut dan bernilai gizi tinggi. Ketiga, *cephalopoda*, yaitu *moluska* yang tidak memiliki cangkang luar, tetapi memiliki struktur cangkang internal, seperti cumi-cumi dan gurita. *Cephalopoda* memiliki tentakel yang berkembang baik dan sering dimanfaatkan dalam berbagai olahan makanan laut.

2. *Krustasea*

Krustasea merupakan kelompok shellfish yang memiliki rangka luar keras (eksoskeleton) dan tubuh beruas-ruas. Kelompok ini mencakup hewan seperti udang, kepiting, lobster, dan udang karang. *Krustasea* umumnya memiliki bagian tubuh yang jelas, seperti kepala, dada, dan abdomen, serta alat gerak berupa kaki beruas. Daging krustasea dikenal memiliki cita rasa khas, tekstur padat, dan kandungan protein tinggi. Namun, proses pengolahan *krustasea* relatif lebih kompleks yang disebabkan sebagian besar bagian tubuhnya tidak dapat dikonsumsi. Selain itu, *krustasea* juga berpotensi mengandung kolesterol dan kontaminan lingkungan sehingga konsumsi dalam jumlah berlebihan perlu diperhatikan.

Cumi-cumi memiliki kandungan natrium tinggi sebesar 848,63 mg/100 g, lebih besar dibandingkan udang, namun kandungan kalsiumnya lebih rendah, yakni 83,03 mg/100 g, sementara udang mengandung kalsium 354,28 mg/100 g. Selain mineral makro dan mikro, cumi-cumi mengandung 18 jenis asam amino esensial, yang didominasi oleh asam glutamat, arginin, lisin, dan asam aspartat berperan dalam fungsi neurotransmitter dan daya tahan tubuh. Cumi-cumi dan udang merupakan sumber pangan yang bermanfaat bagi ibu hamil karena kandungan asam lemak dan mineral penting seperti kalsium, natrium, kalium, magnesium, fosfor, seng, dan iodium. Nutrien tersebut berkontribusi terhadap kesehatan ibu dan janin, pada pembentukan tulang dan sistem saraf (Harnawati & Dewantoro, 2025).

Hasil pemantauan FDA tahun 1990–2012 menunjukkan bahwa konsentrasi Hg pada *shellfish* berada pada rentang yang relatif rendah hingga sedang. Kelompok moluska seperti kerang dan udang umumnya memiliki kadar Hg dalam kisaran 0,003–0,05 ppm, sementara tiram dapat menunjukkan variasi konsentrasi dengan rentang sekitar 0,01–0,25 ppm. Pada *krustasea* berukuran lebih besar, termasuk kepiting dan lobster, kadar Hg berada pada rentang 0,06–0,6 ppm. Secara umum, nilai tersebut masih lebih rendah dibandingkan ikan predator besar yang dapat melebihi 1 ppm. Namun demikian, adanya variasi kadar ini mengindikasikan bahwa konsumsi *shellfish* tetap perlu dikendalikan untuk meminimalkan risiko paparan Hg (FDA, 2022).

Berikut disajikan sintesis penelitian mengenai Hubungan Konsumsi *Seafood* dengan Kadar Merkuri (Hg) dalam Darah Ibu Hamil di Kota Makassar sebagaimana tercantum pada tabel 2.1.

Tabel 1. 1 Sintesa Penelitian

No	Peneliti (Tahun) dan Sumber Jurnal	Judul dan Nama Jurnal	Desain Penelitian dan Metode Analisis	Sampel	Temuan
1	Chen & Dong (2022) https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36498005/	Mercury Contamination in Fish and its Effects on the Health of Pregnant Women and their Fetuses and Guidance for Fish Consumption-a Narrative Review International Journal of Environmental Research and Public	Desain penelitian ini secara sistematis review dengan menggunakan perbandingan hasil penelitian sebelumnya dari studi epidemiologi dan toksikologi.	-	Studi-studi yang direview menunjukkan bahwa kadar merkuri darah ibu hamil yang mengonsumsi ikan predator berkisar 2–10 µg/L, lebih tinggi dibanding ibu hamil dengan konsumsi ikan rendah (<1 µg/L). Beberapa studi melaporkan bahwa setiap peningkatan 1 µg/L merkuri darah maternal berhubungan dengan penurunan skor perkembangan neurokognitif janin sebesar 0,18–0,25 SD.
2	Dack <i>et al.</i> (2024) https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666765723001278	Environmental and Genetic Predictors of Whole Blood Mercury and Selenium Concentrations in Pregnant Women in a UK Birth Cohort	Desain penelitian: Survey analitik dengan desain kohort Metode analisis: Analisis deskriptif dan multivariat. Analisis lanjutan menggunakan	3.972 ibu hamil dari <i>Avon Longitudinal Study of Parents and Children</i> (ALSPAC), Inggris. Sampel darah dikumpulkan pada usia kehamilan median 11 minggu (93% <18 minggu)	Terdapat hubungan signifikan antara faktor-faktor yang berhubungan dengan kadar merkuri darah ibu hamil. Hasil Hasil menunjukkan kadar merkuri darah ($R^2 = 0,224$) yang dipengaruhi oleh konsumsi ikan putih (3,2%).

No	Peneliti (Tahun) dan Sumber Jurnal	Judul dan Nama Jurnal	Desain Penelitian dan Metode Analisis	Sampel	Temuan
		International Journal of Environmental Advances	<i>random forest</i> dan regresi multivariat untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang berhubungan dengan kadar merkuri darah ibu hamil.		
3	Papadopoulou <i>et al.</i> (2021) https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33713119/	Maternal <i>Seafood</i> Intake during Pregnancy, Prenatal Mercury Exposure and Child BMI Trajectories up to 8 years International Journal of Epidemiology	Desain penelitian: Survey analitik dengan desain kohort prospektif Metode analisis: Analisis deskriptif dan analitik. Analisis hubungan dilakukan menggunakan <i>linear mixed-effects regression</i> .	2.277 ibu hamil yang memiliki data merkuri darah maternal yang diukur pada usia kehamilan rata-rata $18,5 \pm 1,3$ minggu	Hasil penelitian menunjukkan median (persentil ke-5 hingga ke-95) asupan mingguan ibu hamil selama kehamilan adalah 2,4 porsi <i>seafood</i> total (0,5–5,2 porsi/minggu), 1,3 porsi ikan rendah lemak (0,1–3,1 porsi/ minggu), dan 0,6 porsi ikan berlemak (0–2,6 porsi/minggu); 66% ibu hamil mengonsumsi <i>seafood</i> lain, dengan median mingguan 0,3 porsi (0,1–0,9 porsi/minggu).
4	Dåstøl <i>et al.</i> (2025)	Maternal <i>Seafood</i> Intake, Dietary	Desain penelitian:	72.101 pasangan ibu–anak, terdiri dari 217	Hasil analisis menunjukkan bahwa konsumsi ikan <i>lean/semi-oily</i>

No	Peneliti (Tahun dan Sumber Jurnal)	Judul dan Nama Jurnal	Desain Penelitian dan Metode Analisis	Sampel	Temuan
	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39877361/	Contaminant Exposure, and Risk of Juvenile Idiopathic Arthritis: Exploring Gene-Environment Interactions International Journal of Frontiers Immunology	Survey analitik dengan desain kohort. Metode analisis: Analisis deskriptif dan bivariat, dilanjutkan analisis multivariat menggunakan regresi logistik berganda.	kasus <i>juvenile idiopathic arthritis</i> (JIA) dan 71.884 kontrol. Data konsumsi ikan diperoleh melalui FFQ pada usia kehamilan ± 22 minggu	dengan porsi tinggi ($\geq$ persentil ke-90/P90) selama kehamilan berhubungan dengan peningkatan risiko <i>juvenile idiopathic arthritis</i> (JIA) pada anak. Ibu hamil yang mengonsumsi ikan <i>lean/semi-oily</i> $\geq$ P90 memiliki risiko JIA pada anak sebesar 1,51 kali dibandingkan kelompok dengan konsumsi $<$ P90 (aOR = 1,51; 95% CI: 1,02–2,22).
5	Beasant <i>et al.</i> (2023) https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37513635/	Fish Consumption during Pregnancy in Relation to National Guidance in England in a Mixed-Methods Study: The PEAR Study International Journal of Nutrients	Desain penelitian: Survey deskriptif dengan pendekatan <i>mixed-methods</i> . Metode analisis: Analisis deskriptif kuantitatif pada data survei dan analisis tematik kualitatif pada hasil	598 ibu postpartum. 14 ibu postpartum mengikuti wawancara mendalam untuk eksplorasi persepsi risiko merkuri dan kepatuhan terhadap panduan konsumsi ikan.	Hasil menunjukkan sebanyak 36% responden memenuhi rekomendasi konsumsi ikan selama kehamilan. Mayoritas ibu hamil menurunkan konsumsi ikan dari ≥ 2 porsi/minggu menjadi < 1 porsi/minggu.

No	Peneliti (Tahun dan Sumber Jurnal)	Judul dan Nama Jurnal	Desain Penelitian dan Metode Analisis	Sampel	Temuan
			wawancara mendalam.		
6	Marti <i>et al.</i> (2024) https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38613009/	Maternal <i>Seafood</i> Consumption during Pregnancy and Cardiovascular Health of Children at 11 Year of Age International Journal of Nutrients	Desain Penelitian: <i>Longitudinal cohort study</i> Metode Analisis: Analisis observasional dengan <i>follow-up</i> (kuesioner & pemeriksaan klinis)	657 ibu hamil yang diikuti selama masa kehamilan, dengan analisis lanjutan pada 434 anak hingga usia sekitar 11 tahun untuk mengevaluasi dampak konsumsi ikan selama kehamilan terhadap kesehatan anak.	Hasil menunjukkan bahwa konsumsi <i>seafood</i> selama kehamilan tergolong tinggi, dengan median asupan sekitar 430–450 gram per minggu dan melibatkan berbagai jenis ikan, termasuk tuna, sarden, makarel, cod, hake, serta kelompok shellfish. Pola konsumsi yang dinilai berdasarkan <i>food frequency questionnaire</i> dan dianalisis pada trimester pertama dan ketiga kehamilan.
7	Rumiantseva <i>et al.</i> (2024) https://www.mdpi.com/2305-6304/12/5/366	Hair Mercury Levels in Pregnant Women: Fish Consumption as a Determinant of Exposure International Journal of Toxics	Desain Penelitian: Studi observasional potong lintang (<i>cross-sectional</i>). Metode Analisis: Analisis kadar merkuri (Hg) pada rambut menggunakan	84 wanita hamil (18-48 tahun) di wilayah Cherepovets, Rusia yang memiliki data kadar merkuri rambut yang diukur pada berbagai tahap kehamilan.	Hasil menunjukkan dari total 98 responden, sebanyak 22% memiliki kadar merkuri rambut di atas 0,58 mg/kg yang dikaitkan dengan peningkatan risiko perinatal. Selain itu, sekitar 6% responden melampaui ambang batas 1 mg/kg sebagaimana direkomendasikan oleh <i>United States Environmental Protection Agency</i> (US EPA),

No	Peneliti (Tahun) dan Sumber Jurnal	Judul dan Nama Jurnal	Desain Penelitian dan Metode Analisis	Sampel	Temuan
			spektrometri serapan atom dan kuesioner frekuensi makanan (FFQ).		sementara satu responden tercatat memiliki kadar Hg sebesar 3,1 mg/kg yang melebihi batas aman yang ditetapkan oleh <i>World Health Organization</i> (WHO). Konsentrasi merkuri tertinggi ditemukan pada ibu hamil dengan tingkat konsumsi ikan yang tinggi, yakni hingga 5 kg per bulan.
8	Li <i>et al.</i> (2024) https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39349681/	Association of Maternal Blood Mercury Concentration During the First Trimester of Pregnancy with Birth Outcomes International Journal of Scientific Reports	Desain Penelitian: Studi <i>nested case-control</i> . Metode Analisis: Regresi logistik kondisional, regresi linear, dan <i>restricted cubic spline regression</i> .	240 ibu hamil yang terdiri dari 120 kasus <i>spontaneous preterm birth</i> (SPB) dan 120 kelompok kontrol, dengan pengukuran kadar merkuri dalam darah yang dilakukan pada trimester pertama kehamilan.	Hasil menunjukkan bahwa rata-rata konsentrasi merkuri dalam darah ibu hamil adalah sekitar $2,8 \pm 2,2 \mu\text{g/L}$, dengan paparan merkuri yang lebih tinggi cenderung meningkatkan risiko <i>spontaneous preterm birth</i> (SPB), meskipun secara keseluruhan tidak signifikan (adjusted OR = 1,10; 95% IK = 0,95–1,26). Namun, pada kelompok paparan tertentu (kuartil 3), risiko SPB meningkat signifikan (adjusted OR = 3,49; 95% IK = 1,33–9,11).
9	Gualtieri <i>et al.</i> (2024)	Fish Consumption and DHA Supplementation	Desain Penelitian:	404 ibu hamil yang berpartisipasi dalam	Hasil menunjukkan bahwa sebagian besar ibu hamil (92,1%)

No	Peneliti (Tahun) dan Sumber Jurnal	Judul dan Nama Jurnal	Desain Penelitian dan Metode Analisis	Sampel	Temuan
	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39339651/	during Pregnancy: Study of Gestational and Neonatal Outcomes. International Journal of Nutrients	Studi observasional dengan survei web. Metode Analisis: Uji <i>Wilcoxon</i> , <i>Kruskal-Wallis</i> , <i>chi-square</i> <i>Pearson</i> , <i>Fisher</i> , korelasi <i>Spearman</i> , dan regresi logistik berganda.	survei selama masa kehamilan, dengan data dikumpulkan terkait pola konsumsi ikan dan suplementasi DHA selama periode gestasi.	mengonsumsi ikan setidaknya sekali per minggu, dengan mayoritas 1–2 kali/minggu (67,3%) dan 24,8% lebih dari 3 kali/minggu, serta 46,0% mengonsumsi suplemen DHA. Rata-rata usia kehamilan saat persalinan adalah $39,2 \pm 1,39$ minggu. Konsumsi ikan ≥ 3 kali per minggu menunjukkan hubungan signifikan dengan peningkatan berat dan panjang lahir bayi, meskipun tidak ditemukan hubungan signifikan dengan kejadian kelahiran prematur.

Paparan Hg berpotensi menimbulkan dampak terhadap kesehatan ibu hamil maupun janin. Tingkat paparan tersebut dapat dideteksi melalui konsentrasi merkuri dalam darah yang berperan sebagai biomarker untuk menilai risiko paparan. Informasi mengenai jenis, jumlah, dan frekuensi konsumsi *seafood* selama kehamilan dapat digunakan untuk memprediksi kadar Hg dalam darah, sehingga dapat dilakukan pemantauan paparan Hg selama masa kehamilan.

1.6 Kerangka Teori

Hg di lingkungan berasal dari dua sumber utama, yaitu sumber alami dan sumber antropogenik. Sumber alami meliputi aktivitas vulkanik dan proses pelapukan batuan, sedangkan sumber antropogenik berasal dari kegiatan industri, pertambangan, dan aktivitas pertanian. Hg dari berbagai sumber tersebut selanjutnya menyebar ke berbagai media paparan, antara lain air, udara, tanah atau sedimen, serta biota perairan, khususnya *seafood*.

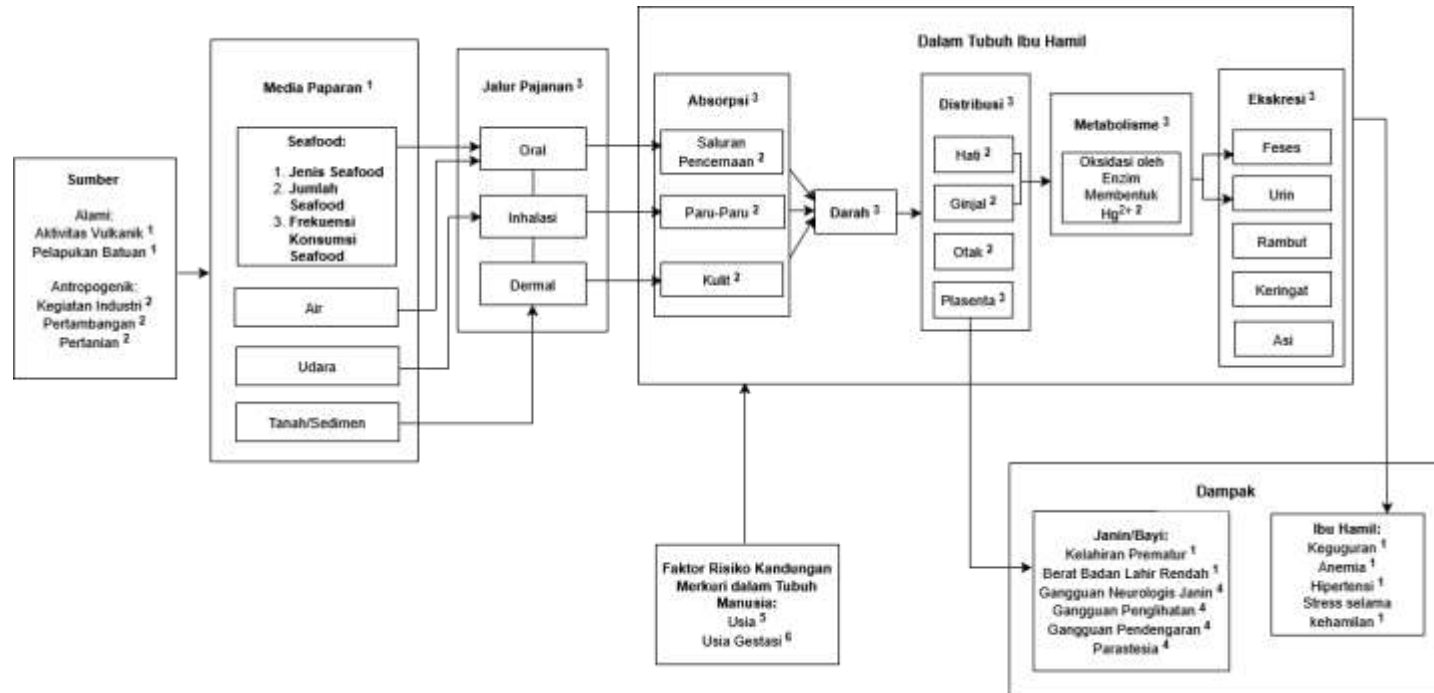
Paparan Hg pada ibu hamil terjadi melalui tiga jalur pajanan, yaitu jalur oral, inhalasi, dan dermal. Jalur oral merupakan jalur utama yang berasal dari konsumsi *seafood*, yang dipengaruhi oleh jenis *seafood*, jumlah *seafood*, dan frekuensi konsumsi *seafood*. Jalur inhalasi terjadi melalui udara yang terkontaminasi merkuri, sedangkan jalur dermal terjadi melalui kontak kulit dengan media lingkungan yang mengandung Hg. Hg yang masuk melalui jalur oral akan melalui saluran pencernaan, sedangkan Hg yang masuk melalui inhalasi akan diserap melalui paru-paru, dan paparan dermal melalui kulit, sebelum mengalami proses absorpsi.

Setelah proses absorpsi, Hg masuk ke dalam peredaran darah dan mengalami proses distribusi ke berbagai organ dalam tubuh ibu hamil, meliputi hati, ginjal, otak, serta plasenta. Di dalam tubuh, Hg selanjutnya mengalami metabolisme, salah satunya melalui proses oksidasi oleh enzim yang menghasilkan bentuk ionik Hg^{2+} . Bentuk ini bersifat lebih reaktif dan berpotensi meningkatkan toksisitas di dalam tubuh.

Hg dan metabolitnya kemudian mengalami proses ekskresi melalui beberapa jalur, yaitu feses, urin, keringat, rambut, dan air susu ibu (ASI). Namun, apabila proses ekskresi tidak berlangsung optimal, Hg dapat terakumulasi di organ target. Akumulasi Hg dalam tubuh ibu hamil dipengaruhi oleh beberapa faktor risiko, antara lain usia ibu dan usia gestasi.

Akumulasi Hg dalam tubuh ibu hamil berpotensi menimbulkan dampak kesehatan baik pada ibu maupun janin. Pada janin atau bayi, paparan Hg berisiko menyebabkan kelahiran prematur, berat badan lahir rendah (BBLR), gangguan neurologis, gangguan penglihatan, gangguan pendengaran, serta parestesia. Sementara itu, pada ibu hamil, paparan Hg dapat meningkatkan risiko keguguran, anemia, hipertensi, serta stres selama kehamilan.

Berikut disajikan kerangka teori penelitian Distribusi Merkuri Masuk ke dalam Tubuh Ibu Hamil sebagaimana tercantum pada gambar 2.1.

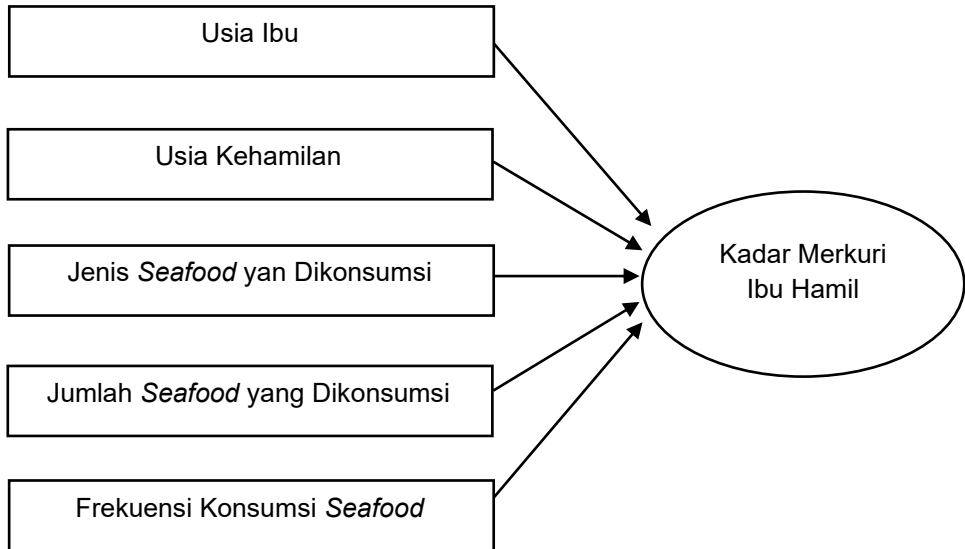


Gambar 1. 1 Kerangka Teori Distribusi Merkuri Masuk ke dalam Tubuh Ibu Hamil

Sumber: Li *et al.* (2024) ¹, Irianti *et al.* (2017) ², ASTDR (2022) ³, Ekawanti & Priyambodo (2020) ⁴, Marnovy *et al.* (2024) ⁵, Arum *et al.* (2021) ⁶

1.7 Kerangka Konsep

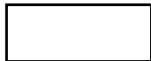
Berikut disajikan kerangka konsep penelitian Hubungan Konsumsi *Seafood* dengan Kadar Merkuri (Hg) dalam Darah Ibu Hamil di Kota Makassar sebagaimana tercantum pada gambar 3.1.



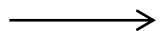
Keterangan :



: Variabel Dependen



: Variabel Independen



: Hubungan Variabel

Gambar 1. 2 Kerangka Konsep

1.8 Definisi Operasional dan Kriteria Objektif

Berikut disajikan definisi operasional dan kriteria objektif penelitian Hubungan Konsumsi *Seafood* dengan Kadar Hg dalam Darah Ibu Hamil di Kota Makassar sebagaimana tercantum pada Tabel 3.1.

Tabel 1. 2 Definisi Operasional dan Kriteria Objektif

No.	Variabel	Definisi Operasional	Alat Ukur	Kriteria Objektif	Skala Pengukuran
1.	Kadar merkuri	Konsentrasi Hg yang terukur dalam sampel darah ibu hamil	Data sekunder	–	Rasio
2.	Usia ibu	Usia ibu adalah lama hidup ibu	Data sekunder	–	Rasio

No.	Variabel	Definisi Operasional	Alat Ukur	Kriteria Objektif	Skala Pengukuran
		hamil yang dihitung sejak tanggal lahir dalam satuan tahun			
3.	Usia kehamilan	Usia kehamilan adalah lamanya masa kehamilan yang dihitung berdasarkan Hari Pertama Haid Terakhir (HPHT)	Data sekunder	–	Rasio
4.	Jenis <i>seafood</i> yang dikonsumsi	Jenis <i>seafood</i> yang dikonsumsi adalah kategori <i>seafood</i> berdasarkan <i>fish</i> (ikan) dan <i>shellfish</i> (non ikan) untuk mengidentifikasi jenis <i>seafood</i> dan jumlah jenis <i>seafood</i> yang dikonsumsi	Data sekunder	- Ikan besar: Tuna, tongkol - Ikan sedang: Baronang - Ikan Kecil: Teri, tembang, layang, kembung - <i>Moluska</i>: Cumi-cumi - <i>Krustasea</i>: Udang, kepiting	Nominal
5.	Jumlah <i>seafood</i> yang dikonsumsi	Jumlah <i>seafood</i> yang dikonsumsi adalah total porsi <i>seafood</i> yang dikonsumsi ibu hamil dalam sekali makan (harian)	Data sekunder	- Tidak makan ikan - >1 porsi (gram)/hari - 1 porsi/hari (gram)/hari	Ordinal
6.	Frekuensi konsumsi <i>Seafood</i>	Frekuensi konsumsi <i>seafood</i> adalah jumlah kejadian	Data sekunder	- Tidak pernah - Sering, >3x/	Ordinal

No.	Variabel	Definisi Operasional	Alat Ukur	Kriteria Objektif	Skala Pengukuran
		konsumsi <i>seafood</i> yang dilakukan oleh ibu hamil dalam seminggu		minggu - Jarang, <3x/ minggu	

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain potong lintang (*cross-sectional*) dengan memanfaatkan data pada satu titik waktu pengamatan. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan menggunakan data sekunder dari Studi Kohort “*Pajanan Logam Berat Prenatal pada Ibu Hamil dan Anak*” di Makassar.

2.1.1 Studi Kohort Pajanan Logam Berat Prenatal pada Ibu Hamil dan Anak

Studi Kohort Pajanan Logam Berat Prenatal pada Ibu Hamil dan Anak merupakan penelitian longitudinal kuantitatif yang dilaksanakan di Kota Makassar pada tahun 2023–2025. Populasi dalam penelitian ini berjumlah 668 ibu hamil yang menjalani pemeriksaan Antenatal Care (ANC) di beberapa puskesmas di Kota Makassar, yaitu Puskesmas Kapasa, Puskesmas Bangkala, Puskesmas Sudiang, Puskesmas Antang Perumnas, Puskesmas Tabaringan, Puskesmas Dahlia, Puskesmas Kaluku Bodoa, Puskesmas Barombong, Puskesmas Pattingalloang, Puskesmas Barayya, Puskesmas Tamangapa, Puskesmas Sudiang Raya, Puskesmas Andalas, Puskesmas Pampang, Puskesmas Batua, Puskesmas Bira, dan Puskesmas Tamalate. Dari populasi tersebut, diperoleh sampel sebanyak 322 ibu hamil yang memenuhi kriteria yang telah ditetapkan dalam penelitian kohort tersebut.

Pengumpulan data dilakukan melalui wawancara terstruktur menggunakan kuesioner yang mencakup karakteristik responden, riwayat kehamilan, pajanan lingkungan, kondisi tempat tinggal, serta pola konsumsi termasuk *seafood* sebagai sumber potensial paparan Hg. Selain itu, dilakukan pemeriksaan biomarker melalui pengambilan sampel biologis seperti darah, urin, rambut, dan feses untuk mengukur kadar logam berat dalam tubuh ibu hamil.

2.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Kota Makassar dengan memanfaatkan data sekunder yang bersumber dari Studi Kohort Pajanan Logam Berat Prenatal pada Ibu Hamil dan Anak yang dilakukan di beberapa puskesmas sebagai lokasi pengambilan data primer. Dalam penelitian ini, peneliti tidak melakukan pengambilan data secara langsung, melainkan menggunakan data yang telah tersedia dari hasil penelitian sebelumnya. Proses pengolahan, analisis, dan interpretasi data dilakukan oleh peneliti pada periode Februari–April 2026.

2.3 Populasi dan Sampel

2.3.1 Populasi

Populasi dalam penelitian ini adalah Ibu Hamil yang ada di Data Sekunder Studi Kohort Pajanan Logam Berat Prenatal pada Ibu Hamil

dan Anak yang berasal dari Puskesmas Kapasa, Puskesmas Bangkala, Puskesmas Sudiang, Puskesmas Antang Perumnas, Puskesmas Tabaringan, Puskesmas Dahlia, Puskesmas Kaluku Bodoa, Puskesmas Barombong, Puskesmas Pattingalloang, Puskesmas Barayya, Puskesmas Tamangapa, Puskesmas Sudiang Raya, Puskesmas Andalas, Puskesmas Pampang, Puskesmas Batua, Puskesmas Bira, dan Puskesmas Tamalate.

2.3.2 Sampel

Pengambilan sampel dalam penelitian ini menggunakan teknik *non-probability sampling* dengan metode *stratified purposive sampling*. Sampel dalam penelitian ini adalah ibu hamil berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang diperoleh berdasarkan data Sekunder dari Studi Kohort Paparan Logam Berat Prenatal pada Ibu Hamil dan Anak.

1. Kriteria Inklusi:

- 1) Data ibu hamil yang terdeteksi kadar Hg dalam darah yang terdapat di Puskesmas Tamangapa, Puskesmas Sudiang Raya, Puskesmas Andalas, Puskesmas Pampang, Puskesmas Batua, Puskesmas Bira, Puskesmas Tamalate, Puskesmas Dahlia, Puskesmas Pattingalloang, Puskesmas Bangkala, dan Puskesmas Kaluku Bodoa.

2. Kriteria Eksklusi:

- 1) Data ibu hamil yang tidak lengkap data konsumsi *seafoodnya*.

2.3.3 Besar Sampel

Penentuan besar sampel dalam penelitian ini menggunakan **rumus Lemeshow** yang digunakan pada penelitian **cross sectional** dalam menentukan jumlah sampel minimal sebagai berikut.

$$n = \frac{Z^2 \times p \times (1-p)}{d^2}$$

Tabel 2. 1 Hasil Perhitungan berdasarkan Proporsi

Studi	Z	p	d	n
Khairunnisa, 2023	1,96	p1 = 0,274	0,1	76,4
Stråvik, 2023	1,96	p2 = 0,593	0,1	92,7
Mendez, 2008	1,96	p4 = 0,95	0,1	18,2
		p3 = 0,508	0,1	96

Sumber: Data Sekunder

Keterangan:

n = jumlah sampel

Z = nilai derajat kepercayaan (1,96 untuk 95%)

p1 = proporsi yang telah diketahui nilainya dengan menggunakan proporsi kadar Hg ibu hamil (Khairunnisa, 2023)

p2 = proporsi yang telah diketahui nilainya dengan menggunakan proporsi usia ibu hamil (23-39 tahun) yang mengonsumsi *seafood* selama masa kehamilan >26 minggu (Stråvik et al., 2023)

p_3 = proporsi yang telah diketahui nilainya dengan menggunakan proporsi frekuensi *seafood* >1 kali/minggu (Mendez *et al.*, 2008)

p_4 = proporsi yang telah diketahui nilainya dengan menggunakan proporsi jenis *seafood* yang dikonsumsi (Stråvik *et al.*, 2023)

d = batas kesalahan sebesar 10% (0,1)

Perhitungan besar sampel didasarkan pada nilai proporsi yang menghasilkan jumlah sampel (n) terbesar, sehingga hasil p_3 dipilih sebagai dasar penentuan besar sampel dengan jumlah minimal sebanyak 96 sampel. Untuk memastikan kecukupan data serta menjaga kekuatan analisis statistik, jumlah tersebut dibulatkan menjadi 100 sampel pada data sekunder.

2.4 Analisis Merkuri

Pemeriksaan yang dilakukan pada Studi Kohort Paparan Logam Berat Prenatal pada Ibu Hamil dan Anak sesuai dengan SNI yang berlaku di Balai Besar Laboratorium Kesehatan Makassar dalam menganalisis kadar Hg dalam darah ibu hamil. Adapun peralatan, bahan, dan cara kerjanya sebagai berikut:

2.4.1 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan, yaitu:

a. Alat

1. Kuesioner
2. *Tourniquet*
3. Jarum dan lancet
4. Tabung vakum (darah)
5. ICP (*Inductively Coupled Plasma*)
6. Pipet ukur
7. Labu ukur
8. Gelas ukur
9. Tabung *nessler*
10. Rak tabung *nessler*
11. *Water bath*
12. Alat tulis dan label

b. Bahan

1. Akuades
2. Larutan asam nitrat pekat 65%
3. Larutan standar
4. *Alcohol swab*
5. Sampel darah
6. Masker
7. *Handscoon*

2.4.2 Cara Kerja

a. Pengambilan Sampel darah

1. Lengan responden diikat dengan *tourniquet* atau pengikat lengan untuk memperlambat aliran darah sehingga pembuluh

- darah vena lebih terlihat jelas dan memudahkan pengambilan sampel darah.
2. Area pengambilan sampel dibersihkan dengan lap alkohol atau kapas.
 3. Sampel darah diambil menggunakan jarum suntik.
 4. Sampel darah dimasukkan ke dalam tabung berwarna ungu yang berisi 3 cc EDTA (*Ethylen Diamine Tetra Acetic Acid*)
 5. Wadah sampel dilabeli dengan nama sampel dan kodenya
- b. Preparasi dengan Destruksi Basah
1. Ambil 1 ml sampel darah, masukkan dalam tabung *nessler*.
 2. Tambahkan asam nitrat HNO_3 5 ml
 3. Panaskan di atas *waterbath* dalam suhu 95° sampai sampel menguap dan terlihat jernih.
 4. Saring, kemudian encerkan dengan akuades sebanyak 50 ml.
- c. Tahap Pengujian Sampel
1. Larutan kalibrasi diambil dari larutan standar dengan konsentrasi 1000/L lalu diencerkan dalam labu ukur konsentrasi yang berbeda seperti pada standar larutan.
 2. Larutan siap diperiksa dengan ICP.
 3. Setelah larutan pengujian standar, dilanjutkan dengan pengujian sampel menggunakan ICP dan didapatkan hasil akhir kadar merkuri dalam sampel.

2.5 Teknik Pengumpulan Data

2.5.1 Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari sumber yang telah tersedia sebelumnya, yaitu Studi Kohort Paparan Logam Berat Prenatal pada Ibu Hamil dan Anak. Data sekunder ini digunakan dalam proses pengolahan dan analisis data untuk mendukung, melengkapi, dan memperkuat hasil temuan dari data sebelumnya, sehingga interpretasi hasil penelitian menjadi lebih komprehensif dan akurat.

2.6 Pengolahan dan Analisis Data

2.6.1 Pengolahan Data

Data sekunder yang diperoleh akan melalui beberapa tahapan pengolahan sebelum dianalisis, yaitu sebagai berikut:

1. **Coding**, yaitu proses mengubah data kualitatif menjadi data kuantitatif pada setiap jawaban kuesioner dengan memberi kode tertentu untuk mempermudah proses analisis serta meminimalkan kesalahan saat memasukkan data ke dalam sistem komputer.
2. **Entry data**, yaitu dilakukan pemindahan data setelah kuesioner diperiksa dan dinyatakan lengkap, kemudian dimasukkan ke dalam

perangkat lunak komputer, misalnya SPSS (*Statistical Program for Social Science*) untuk dianalisis.

3. **Tabulasi data**, yaitu mengelompokkan data yang telah dimasukkan ke dalam tabel sesuai dengan tujuan penelitian, sehingga memudahkan identifikasi pola dan hubungan antar variabel.
4. **Data cleaning**, yaitu tahap akhir sebelum analisis, yang bertujuan untuk memeriksa kembali seluruh data yang telah dimasukkan, memastikan tidak ada kesalahan atau data yang tidak sesuai sebelum dilakukan analisis lebih lanjut.

2.6.2 Analisis Data

Secara umum, langkah-langkah analisis data yang akan dilakukan meliputi univariat dan bivariat yang dijelaskan sebagai berikut.

1. Univariat

Analisis univariat dilakukan untuk menggambarkan distribusi variabel yang dianalisis secara tunggal untuk mengetahui karakteristik responden meliputi usia ibu, usia kehamilan, paritas, pendidikan, penghasilan, dan kadar Hg dalam darah ibu hamil. Hasil analisis univariat disajikan dalam bentuk tabel distribusi frekuensi dan persentase.

2. Bivariat

Analisis bivariat dilakukan untuk mengetahui hubungan antara variabel independen (usia kehamilan, usia ibu, frekuensi konsumsi *seafood*, jumlah *seafood* yang dikonsumsi, dan jenis *seafood* yang dikonsumsi) dengan variabel dependen (kadar merkuri dalam darah ibu hamil). Uji statistik yang digunakan, yaitu uji *Chi-Square*. Analisis ini bertujuan untuk menentukan ada atau tidaknya hubungan yang bermakna secara statistik antara variabel-variabel tersebut. Keputusan mengenai signifikansi hubungan ditentukan berdasarkan nilai p-value ($p < 0,05$).

2.7 Penyajian Data

Penyajian data dalam penelitian ini menggunakan tabel analisis yang disertai distribusi, frekuensi, persentase dan interpretasi.