Analisis Risiko Kesehatan Konsumsi Kerang (*Tridacna Squamosa, Conumurex Luhuanus*) yang Mengandung Merkuri (Hg) di Teluk Manado

Gilfrado Jeriko Raranta[1]*, Sri Seprianto Maddusa[2], Oksfriani J. Sumampouw[3]
Fakultas Ilmu Kesehatan Masyarakat, Universitas Sam Ratulangi[1,2,3]
*e-mail: gilfardoraranta121@student.unsrat.ac.id

ABSTRAK

Peningkatan jumlah penduduk dan perkembangan aktivitas industri telah memberikan tekanan besar terhadap kualitas air, khususnya melalui akumulasi logam berat di wilayah pesisir. Kontaminan ini kemudian masuk ke ekosistem perairan, diserap oleh organisme laut, dan akhirnya terakumulasi dalam jaringan tubuh mereka. Di antara berbagai jenis logam berat, merkuri menjadi salah satu yang paling berbahaya karena sifatnya yang persisten di sedimen, tingkat kelarutan yang rendah, serta kemampuannya untuk mengalami bioakumulasi pada biota perairan. Kerang *Tridacna squamosa dan Conomurex luhuanu*, yang umum dikonsumsi oleh masyarakat, berpotensi menjadi media perpindahan merkuri ke manusia. Penelitian ini dilakukan untuk menilai potensi risiko kesehatan yang muncul akibat konsumsi kerang terkontaminasi merkuri di wilayah Teluk Manado. Metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) dengan pendekatan deskriptif digunakan, melibatkan 65 responden. Sampel kerang diperoleh dari tiga titik lokasi, yaitu Sungai Desa Molas, Sungai Malalayang, dan Daerah Aliran Sungai Tondano, masing-masing sebanyak 100 gram, kemudian dianalisis di Laboratorium Air Nusantara (WLN). Hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata kadar merkuri pada kerang mencapai 0,008 mg/kg. Melalui analisis dengan proyeksi paparan seumur hidup, diperoleh nilai rasio risiko (RQ) yang melebihi angka 1, yang mengindikasikan potensi dampak kesehatan non-karsinogenik dalam 30 tahun mendatang. Untuk meminimalkan risiko tersebut, masyarakat dianjurkan untuk membatasi konsumsi kerang dari area tersebut atau menggantinya dengan sumber protein lain yang lebih aman.

Kata kunci : *Kerang; Tridacna Squamosa; Conumurex Luhuanus; Merkuri (Hg)*

ABSTRACT

The increase in population and the development of industrial activities have put great pressure on water quality, particularly through the accumulation of heavy metals in coastal areas. These contaminants then enter aquatic ecosystems, are absorbed by marine organisms, and eventually accumulate in their body tissues. Among the various types of heavy metals, mercury is one of the most dangerous due to its persistent properties in sediments, low solubility levels, and its ability to undergo bioaccumulation in aquatic biota. Tridacna squamosa and Conomurex luhuanu mussels, which are commonly consumed by the public, have the potential to be a medium for mercury transfer to humans. This study was conducted to assess the potential health risks that arise due to the consumption of mercury-contaminated shellfish in the Manado Bay area. The Environmental Health Risk Analysis (ARKL) method with a descriptive approach was used, involving 65 respondents. Shellfish samples were obtained from three location points, namely the Molas Village River, the Malalayang River, and the Tondano Watershed, each of 100 grams, then analyzed at the Nusantara Water Laboratory (WLN). The test results showed that the average mercury level in shellfish reached 0.008 mg/kg. Through analysis with lifetime exposure projections, a risk ratio (RQ) value exceeding 1 was obtained, indicating potential non-carcinogenic health impacts in the next 30 years. To minimize these risks, the public is encouraged to limit the consumption of shellfish from the area or replace it with other sources of protein that are safer.

Keywords **:** *Shellfish; Tridacna Squamosa; Conumurex Luhuanus; Mercury (Hg)*

PENDAHULUAN

Perairan pesisir sering kali menjadi wilayah yang sangat rentan terhadap polusi karena berfungsi sebagai titik akhir aliran sungai serta tempat terakumulasinya berbagai polutan yang terbawa arus.

Peningkatan jumlah penduduk dan aktivitas industri menjadi salah satu penyebab menurunnya kualitas air di kawasan pesisir, yang tercermin dari konsentrasi tinggi logam berat di area tersebut (Razi et al., 2023).

Sebagai negara dengan wilayah luas dan sumber daya alam melimpah, Indonesia mengalami tingkat aktivitas industri yang cukup tinggi. Salah satu polutan utama di perairan pesisir adalah logam berat yang kerap berasal dari limbah elektronik, cat, dan berbagai aktivitas industri lainnya. Logam berat ini dapat sangat merusak ekosistem laut karena mampu terakumulasi dalam biota laut, dan bila organisme laut tersebut dikonsumsi manusia, logam berat berpotensi memasuki tubuh dan menimbulkan risiko kesehatan serius (Nursagita & Titah, 2021).

Proses sedimentasi di sungai biasanya dipicu oleh erosi di daerah hulu. Material hasil erosi yang terbawa arus tidak selalu mencapai hilir sepenuhnya; sebagian akan mengendap di sepanjang aliran sungai. Ditambah lagi, keberadaan aktivitas industri dekat aliran sungai membuat air dari hulu mudah membawa logam berat, sehingga meningkatkan kemungkinan pencemaran. Dengan demikian, analisis sedimen menjadi penting sebagai indikator tingkat pencemaran logam berat untuk menilai potensi risiko lingkungan dari paparan zat berbahaya tersebut (Yulistika, 2023).

Sungai memiliki peranan krusial sebagai bagian dari lingkungan hidup yang menopang kehidupan manusia dan menjaga keseimbangan ekosistem. Namun, perkembangan pesat dalam berbagai sektor — baik secara langsung maupun tidak sering membawa dampak negatif, seperti pencemaran dari limbah rumah tangga maupun limbah non-rumah tangga, termasuk limbah industri dan pabrik (Jannah, 2022).

Organisme laut seperti kerang diketahui memiliki kemampuan tinggi dalam menumpuk logam berat dibanding spesies akuatik lainnya. Hal ini disebabkan oleh sifat hidupnya yang menetap dan respons biologis yang lambat terhadap polusi. Sebuah penelitian oleh Nova dan rekan menunjukkan bahwa kadar merkuri dalam kerang darah yang dijual di Pasar Ikan Cemara, Medan berdasarkan pengukuran spektrofotometri berada pada rentang 2,24 hingga 2,49 ppm untuk sampel K1 hingga K5. Nilai ini jauh melebihi standar maksimum 1,0 ppm menurut SNI No. 7387 tahun 2009 (Nova & Mahyudi, 2019).

Merkuri dan senyawanya telah lama dikenal sebagai zat yang sangat toksik. Masuknya merkuri ke ekosistem perairan dapat menimbulkan dampak serius bagi kesehatan manusia, terutama karena sifatnya yang mudah larut dan cenderung menempel pada jaringan organisme akuatik. Kontaminasi ini mempengaruhi keberlangsungan ekosistem melalui proses bioakumulasi dan biomagnifikasi dalam rantai makanan (Mariwy et al., 2019).

Paparan merkuri melalui pernapasan, konsumsi makanan laut, atau kontak kulit dapat memicu gangguan neurologis serta perubahan perilaku. Gejala yang mungkin muncul antara lain tremor, sulit tidur, kehilangan memori, gangguan neuromuskular, sakit kepala, serta gangguan kognitif dan motorik termasuk potensi kerusakan pada sistem saraf pusat, ginjal, hingga risiko cacat lahir (Prihantini dkk., 2018; Barokah dkk., 2019; Siringoringo et al., 2022).

Dalam sebuah studi oleh Ranoko dan kolega (2019), analisis sedimen di empat muara sungai menunjukkan kadar merkuri rata-rata sebesar 0,0502 ppm di muara Sungai Bailang, 0,0270 ppm di muara Sungai Sario, 0,0615 ppm di muara Sungai Bahu, dan 0,0143 ppm di muara Sungai Malalayang. Keberadaan logam berat seperti merkuri yang terus-menerus di perairan Teluk Manado menimbulkan ancaman serius, karena zat ini dapat terakumulasi dalam biota laut termasuk kerang. Oleh sebab itu, konsumsi kerang dalam jumlah besar berpotensi meningkatkan paparan merkuri, yang berbahaya bagi kesehatan manusia.

Penelitian yang dilakukan di Teluk Manado menunjukkan bahwa dua jenis kerang, yakni Tridacna squamosa dan Conomurex luhuanus berdasarkan wawancara di tiga lokasi utama: muara Sungai Malalayang, muara Sungai Molas, dan muara di DAS Tondano sering dikonsumsi oleh masyarakat setempat. Dari uraian ini dapat disimpulkan bahwa konsumsi kedua jenis kerang tersebut berpotensi membawa risiko kesehatan bagi masyarakat. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut menggunakan pendekatan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan untuk memperkirakan dampak kesehatan yang mungkin timbul akibat konsumsi kerang yang mengandung merkuri.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan metode Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan untuk menilai dan menghitung potensi risiko gangguan kesehatan pada masyarakat yang bermukim di sekitar muara Sungai

Kelurahan Molas, muara Sungai Malalayang, serta muara Daerah Aliran Sungai (DAS) Tondano di Teluk Manado. Risiko yang dikaji berkaitan dengan kebiasaan konsumsi kerang yang terkontaminasi merkuri (Hg). Kegiatan penelitian dilakukan di tiga titik lokasi tersebut di Teluk Manado, sementara analisis laboratorium terhadap sampel kerang dilaksanakan di Water Laboratory Nusantara (WLN) Manado, Sulawesi Utara, pada periode April hingga Juni 2024. Sebanyak 65 responden dilibatkan dalam penelitian melalui teknik purposive sampling. Selain pengumpulan data responden melalui kuesioner, penelitian ini juga mengambil sampel kerang dari dua spesies, yaitu *Tridacna squamosa dan Conomurex luhuanus*, untuk mengukur kadar logam berat merkuri (Hg). Data yang terkumpul kemudian dianalisis secara univariat dan dilanjutkan dengan perhitungan nilai intake guna menentukan tingkat risiko pajanan merkuri pada kelompok masyarakat yang diteliti.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Kandungan Merkuri Pada Kerang (*Tridacna Squamosa, Conumurex Luhuanus*) di Teluk Manado

Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) merupakan salah satu instrumen penting dalam manajemen risiko yang digunakan untuk melindungi kesehatan masyarakat dari berbagai dampak negatif lingkungan. Metode ini bertujuan menghitung serta memperkirakan potensi risiko kesehatan pada manusia melalui serangkaian tahapan penilaian. Proses tersebut mencakup identifikasi faktor-faktor yang berperan, penilaian tingkat dan bentuk paparan, serta pengkajian karakteristik agen berbahaya dan karakteristik populasi yang terpapar. Pendekatan ini, sebagaimana diuraikan oleh Maherdyta dkk. (2022), memungkinkan penilaian risiko dilakukan secara sistematis dan komprehensif.

1. Pola Aktivitas Responden

Variabel aktivitas pada riset ini meliputi laju asupan, frekuensi pajanan, dan durasi pajanan, yang seluruhnya diperoleh melalui proses wawancara dengan responden.

Tabel 1. Distribusi Berdasarkan Laju Asupan dan Frekuensi Pajanan Responden

Variable	*Cut of poin*	Kategori	Jumlah	Persentase (%)
Laju Asupan (R) (gr/hari)	100	≤100	50	76,9
		>100	15	23,0
	Total		65	100,0
Frekuensi pajanan (F_E) (hari/tahun)	12	≤12	50	76,9
		>12	15	23,0
	Total		65	100,0

2. Laju Asupan

Laju asupan dalam penelitian ini merujuk pada jumlah kerang yang dikonsumsi responden setiap hari melalui jalur ingesti, yang dinyatakan dalam satuan gram per hari. Pada variabel laju asupan yang ditampilkan pada Tabel 4.2, dilakukan uji normalitas data menggunakan Kolmogorov–Smirnov. Hasil pengujian menunjukkan p-value sebesar 0,000 (<0,05), sehingga data dinyatakan tidak berdistribusi normal.

Oleh karena itu, median digunakan sebagai cut-off point dalam analisis. Dalam penelitian ini, laju asupan terendah adalah 100 gram per hari, sedangkan laju asupan tertinggi mencapai 200 gram per hari. Berdasarkan Tabel 4.2, sebanyak 50 responden (76,9%) memiliki laju asupan ≤ 100 gram, sedangkan 15 responden (23,0%) memiliki laju asupan ≥ 100 gram.

3. Frekuensi Pajanan

Frekuensi pajanan pada riset ini menggambarkan jumlah hari dalam setahun ketika responden mengonsumsi kerang yang terkontaminasi merkuri (Hg). Nilai frekuensi pajanan dihitung berdasarkan frekuensi konsumsi kerang per bulan yang kemudian dikalikan dengan 12 bulan dalam satu tahun.

Uji normalitas data menggunakan Kolmogorov–Smirnov menunjukkan p-value sebesar 0,000 (<0,05), sehingga data dinyatakan tidak berdistribusi normal dan analisis selanjutnya menggunakan nilai median sebagai acuan. Berdasarkan Tabel 4.2, terdapat 50 responden (76,9%) dengan frekuensi pajanan ≤ 12 hari per tahun, sedangkan 15 responden (23,0%) memiliki frekuensi pajanan ≥ 12 hari per tahun.

4. Durasi Pajanan

Durasi pajanan dalam penelitian ini menggambarkan lamanya, atau jumlah tahun, responden terpapar merkuri (Hg). Pada riset ini, durasi pajanan ditetapkan menggunakan *lifetime* atau waktu proyeksi untuk efek non-karsinogenik, yaitu selama 30 tahun ke depan.

5. Identifikasi Bahaya

Hasil pengamatan awal, diketahui bahwa sungai disekitaran kawasan Teluk Manado masih dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai sumber pengambilan kerang untuk dikonsumsi. Oleh karena itu, dilakukan pengambilan sampel kerang dari dua jenis, yaitu *Tridacna squamosa* dan *Conomurex luhuanus*, masing-masing sebanyak tiga sampel, untuk kemudian diuji kandungan cemaran merkuri (Hg). Pemeriksaan laboratorium dilakukan di PT Water Laboratory Nusantara Indonesia (WLN) Paal Dua.

Tabel 2. Konsentrasi Merkuri Pada Kerang di Teluk Manado

Sampel Kerang	Jumlah Sampel (gr)	Konsentrasi Merkuri (Hg) (mg/kg)	NAB (mg/kg)
Sampel 1	200	0,009	
Sampel 2	200	0,005	1,0
Sampel 3	200	0,013	
	Rata-rata	0,008	

Tabel 2, diketahui bahwa konsentrasi cemaran merkuri (Hg) pada sampel kerang adalah sebesar 0,008 mg/kg. Nilai tersebut merupakan hasil perhitungan rata-rata dari konsentrasi merkuri pada seluruh titik pengambilan sampel. Selanjutnya, nilai ini digunakan sebagai konsentrasi (C) dalam perhitungan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL).

6. Analisis Dosis Respons

Analisis dosis respon bertujuan untuk mengetahui nilai *Reference Dose* (RfD) dari suatu agen risiko serta memahami potensi efek yang dapat ditimbulkan agen tersebut pada tubuh manusia. Nilai RfD digunakan dalam perhitungan risiko non-karsinogenik, yaitu untuk memproyeksikan risiko kesehatan dalam kurun waktu 30 tahun akibat pajanan bahan kimia tertentu.

Pada penelitian ini, nilai RfD untuk merkuri (Hg) adalah 0,0001 mg/kg/hari. Nilai ini merupakan standar baku yang digunakan untuk menghitung besarnya intake atau asupan merkuri melalui jalur ingesti yang masuk ke dalam tubuh responden.

7. Analisis Pajanan

Jumlah merkuri yang masuk ke dalam tubuh responden JR melalui konsumsi kerang, dengan berat badan 49 kg dan laju asupan 200 gram setiap kali mengonsumsi kerang, adalah sebesar 0,001 mg/kg/hari.

8. Karakteristik Risiko

Nilai RQ pada responden adalah 19,05 mg/kg/hari. Nilai tersebut menunjukkan bahwa responden berisiko mengalami efek kesehatan non-karsinogenik dalam 30 tahun mendatang, karena nilai RQ yang diperoleh lebih besar dari 1.

Tabel 3. Distribusi Variabel Konsentrasi Merkuri, Frekuensi Pajanan, Durasi Pajanan, Jumlah Konsumsi, Berat Badan, Intake, RQ Pajanan 30 Tahun

Variabel	Mean	Median	Min	Maks	*p-value Kolmogrov - Smirnov*
Frekuensi pajanan kerang (hari/tahun)	14,84	12,00	2	40	<001
Durasi pajanan ikan kerang (tahun)	Durasi pajanan menggunakan *Lifetime* atau proyeksi non karsinogenik 30 tahun yang akan datang				
Laju asupan pada kerang (hari/tahun)	124,61	100,00	100	200	<001
Berat badan (kg)	54,24	55,80	15,70	83,00	<001
Konsentrasi Merkuri pada kerang	Konsentrasi Merkuri adalah 0,008 mg/kg				
RfD Merkuri	RfD Merkuri yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,0001 mg/kg/hari				
Intake	0,0008	0,0006	5,2814E-05	0,00228	<001
RQ Akumulasi Pajanan 30 Tahun	8,2396	5,7678	0,53	22,87	<001

9. Manajemen Risiko

Manajemen risiko merupakan tahapan dalam ARKL yang dilakukan ketika hasil karakterisasi risiko (RQ) menunjukkan tingkat risiko yang tidak aman (RQ > 1) atau berpotensi menimbulkan dampak kesehatan. Langkah ini bertujuan untuk meminimalkan efek pajanan terhadap suatu agen berbahaya dengan menghitung batas aman konsentrasi pajanan (C) serta jumlah konsumsi (R) yang masih dapat ditoleransi.

Tabel 4. Distribusi Statistik Variabel Jumlah Konsentrasi Aman dan Jumlah Konsumsi Aman Non Karsinogenik

Variabel	Mean	Median	Min	Maks	*p-value Kolmogrov - Smirnov*
Jumlah Konsentrasi Aman Non Karsinogenik	0,0016	0,0014	0,00	0,02	<001
Jumlah Konsumsi Aman Non Krsinogenik	21,5173	19,7708	5,59	189,34	<001

Tabel 4 menunjukkan distribusi statistik variabel jumlah konsentrasi aman non-karsinogenik serta jumlah konsumsi aman non-karsinogenik. Rata-rata konsentrasi pajanan aman yang diperoleh adalah 0,0016 mg/kg, dengan nilai terendah 0,00 mg/kg dan nilai tertinggi 0,02 mg/kg. Sementara itu, rata-rata jumlah konsumsi aman adalah 21,5173 gram per hari, dengan nilai terendah 5,59 gram per hari dan nilai tertinggi 189,34 gram per hari.

10. Jumlah Konsentrasi Aman Non Karsinogenik

Berikut merupakan contoh perhitungan konsentrasi aman non-karsinogenik dengan menggunakan durasi pajanan lifetime pada responden bernama JR yang memiliki berat badan 49 kg. Dalam satu tahun, JR mengonsumsi kerang sebanyak 40 kali dengan laju asupan 200 gram per konsumsi. Nilai *Reference Dose* (RfD) untuk merkuri (Hg) adalah 0,0001 mg/kg/hari. Berdasarkan data tersebut, perhitungan konsentrasi aman untuk responden JR dalam periode waktu rata-rata pajanan (tAVG) selama 30 tahun dihitung sebagai berikut:

$$Cnk\ aman\ (ingesti) = = \frac{-0{,}0001\ x\ 49kg\ x\ 10{,}950}{200\frac{gr}{hari}\ x\ 40\frac{hari}{tahun}\ x\ 30\ tahun}$$

$$Cnk\ aman\ (ingesti) = \frac{53{,}655}{240{,}000}$$

$$Cnk\ aman\ (ingesti) = 0{,}0002$$

11. Jumlah Konsumsi Aman Non Karsinogenik

Berikut merupakan contoh perhitungan jumlah konsumsi aman non-karsinogenik dengan menggunakan durasi pajanan *lifetime*. Responden JR memiliki berat badan 49 kg dan dalam satu tahun mengonsumsi kerang sebanyak 40 kali dengan laju asupan 200 gram setiap konsumsi. Konsentrasi merkuri (Hg) dalam kerang diketahui sebesar 0,0008 mg/kg, sedangkan nilai *Reference Dose* (RfD) untuk merkuri adalah 0,0001 mg/kg/hari. Berdasarkan informasi tersebut, perhitungan konsumsi aman bagi responden JR dalam periode waktu rata-rata pajanan (tAVG) selama 30 tahun dilakukan sebagai berikut:

$$Rnk\ aman\ (ingesti) = \frac{0{,}0001\frac{mg}{kg}\ x\ 49\ kg\ x\ 10{,}950}{0{,}0008\frac{mg}{kg}\ \text{x}\ 40\frac{hari}{tahun}\ \text{x}\ 30\ \text{tahun}}$$

$$Rnk\ aman\ (ingesti) = \frac{53{,}655}{0{,}96}$$

$$Rnk\ aman\ (ingesti) = 5589062$$

Pembahasan

A. Konsentrasi Merkuri Pada Kerang di Teluk Manado

Berdasarkan hasil penelitian, ditemukan variasi konsentrasi merkuri (Hg) pada tiga titik pengambilan sampel di Teluk Manado. Konsentrasi Hg di muara Sungai Molas tercatat sebesar 0,009 mg/kg, di Daerah Aliran Sungai (DAS) Tondano sebesar 0,005 mg/kg, dan di wilayah Malalayang mencapai 0,013 mg/kg. Nilai konsentrasi tertinggi terdapat di Malalayang. Tingginya kadar merkuri di lokasi ini diduga berkaitan dengan kedekatannya dengan Rumah Sakit Prof. Dr. R. D. Kandou, yang merupakan rumah sakit besar dengan potensi menghasilkan limbah medis mengandung bahan kimia berbahaya, termasuk logam berat seperti merkuri. Selain limbah medis, beberapa faktor lain yang berkontribusi terhadap tingginya konsentrasi merkuri antara lain adanya aktivitas industri kecil dan menengah, seperti bengkel, yang belum memiliki fasilitas pengolahan limbah yang memadai sehingga limbah dapat terbuang langsung ke badan sungai. Limbah domestik juga turut berperan, terutama pembuangan sampah rumah tangga tanpa proses pengolahan, misalnya baterai, plastik, dan produk konsumen lainnya yang berpotensi mengandung logam berat. Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 7387:2009 mengenai Batas Maksimum Cemaran Logam Berat dalam Pangan, ambang batas merkuri (Hg) pada produk kerang adalah 1 ppm (1,0 mg/kg). Dengan demikian, meskipun konsentrasi Hg pada ketiga lokasi masih berada jauh di bawah batas maksimum, variasi kadar yang ditemukan tetap perlu mendapat perhatian karena berpotensi menimbulkan risiko kesehatan apabila terjadi akumulasi melalui konsumsi jangka panjang.

B. Laju Asupan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa masyarakat yang terpapar merkuri (Hg) melalui konsumsi kerang memiliki rata-rata laju asupan sebesar 124,61 gram per hari. Dalam kajian Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL), besarnya asupan sangat menentukan tinggi rendahnya nilai risiko yang mungkin diterima oleh individu. Konsumsi kerang yang telah tercemar merkuri berpotensi menimbulkan dampak kesehatan yang serius, termasuk di wilayah Sulawesi Utara. Studi yang dilakukan oleh Pratiwi Nur dkk. (2023) mengungkap bahwa kerang hijau (Perna viridis) yang berasal dari perairan Makassar mengandung merkuri dengan kadar rata-rata 0,0009 µg/gram. Paparan jangka panjang terhadap kerang dengan kandungan tersebut dinilai tidak aman karena menghasilkan nilai risiko di atas ambang aman (R > 1). Dengan demikian, peningkatan jumlah konsumsi kerang akan diikuti oleh kenaikan nilai risiko kesehatan yang diterima masyarakat. Kondisi ini dapat memicu timbulnya berbagai efek kesehatan, baik yang bersifat non-karsinogenik maupun karsinogenik, terutama bila paparannya berlangsung terus-menerus.

C. Durasi Pajanan

Durasi pajanan menggambarkan berapa lama atau berapa banyak tahun masyarakat terpapar merkuri (Hg) dalam konteks penelitian ini. Pada penelitian ini, durasi pajanan ditetapkan menggunakan proyeksi waktu pajanan non-karsinogenik selama 30 tahun atau dikenal sebagai *lifetime exposure*. Beberapa studi sebelumnya turut mendukung pentingnya faktor durasi pajanan. Penelitian oleh Sonata et al. (2021) melaporkan bahwa frekuensi paparan langsung terhadap merkuri berhubungan dengan peningkatan akumulasi logam berat tersebut dalam tubuh manusia. Selain itu, temuan Sinaga dan kolega (2023) menunjukkan bahwa lamanya seseorang bekerja serta frekuensi konsumsi ikan dapat memengaruhi kadar merkuri yang tersimpan di dalam tubuh. Secara umum, semakin sering dan semakin lama seseorang terpapar merkuri, maka semakin tinggi pula kemungkinan terjadinya keracunan.

D. Frekuensi Pajanan

Frekuensi pajanan menggambarkan seberapa sering seseorang terpapar suatu zat kimia atau bahan berbahaya dalam kurun waktu satu tahun, dihitung berdasarkan jumlah hari paparan per tahun. Dalam penelitian ini, frekuensi pajanan diartikan sebagai jumlah hari dalam setahun ketika responden mengonsumsi kerang yang telah terkontaminasi logam berat merkuri (Hg). Nilai rata-rata frekuensi pajanan adalah 14,84 hari per tahun, dengan kisaran antara 2 hari sebagai nilai terendah dan 40 hari sebagai nilai tertinggi. Tingginya frekuensi pajanan berkontribusi langsung terhadap meningkatnya nilai asupan (intake) merkuri ke dalam tubuh, yang pada akhirnya meningkatkan potensi risiko kesehatan yang dapat diterima masyarakat.

E. Analisis Dosis Respon

Dosis respon yang digunakan dalam analisis risiko melalui jalur ingesti untuk paparan merkuri (Hg) memiliki nilai *Reference Dose* (RfD) sebesar 0,0001 mg/kg/hari, dan paparan yang melebihi ambang ini dapat memicu berbagai gangguan kesehatan, termasuk kerusakan permanen pada jaringan otak serta gangguan fungsi ginjal.

Merkuri dapat membahayakan kesehatan manusia melalui mekanisme yang kompleks. Setelah masuk ke dalam tubuh, logam berat ini dapat berperan sebagai radikal bebas yang mengurangi kadar glutathione, sehingga memicu stres oksidatif. Kondisi tersebut dapat merusak sel, DNA, serta mengganggu sistem pertahanan antioksidan tubuh, sebagaimana dijelaskan oleh Zulaikhah dan kolega (2020). Selain itu, pemaparan merkuri dalam jangka panjang berpotensi menimbulkan gangguan neurologis akibat akumulasi logam ini pada organ-organ penting, seperti ginjal, hati, dan jaringan rambut, sebagaimana dilaporkan oleh (Ishak et al., 2024).

F. Analisis Pajanan

Analisis pajanan merupakan tahapan penilaian untuk menentukan besarnya eksposur individu maupun populasi terhadap zat kimia, biologis, atau fisik yang berpotensi menimbulkan dampak kesehatan. Setelah data lapangan dikumpulkan dan diolah menggunakan perangkat lunak, diperoleh hasil perhitungan nilai asupan merkuri (Hg) non-karsinogenik melalui konsumsi kerang yang diproyeksikan selama 30 tahun (*lifetime*). Nilai tersebut berkisar antara 5,2814E-05 mg/hari hingga 0,00228 mg/hari, dengan rata-rata 0,0008 mg/hari. Variasi asupan merkuri dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti berat badan responden dan periode rata-rata waktu pajanan (tavg), namun besarannya cenderung meningkat seiring meningkatnya konsentrasi Hg dalam kerang, laju konsumsi (R), frekuensi pajanan (fE), serta durasi pajanan (Dt). Berdasarkan hasil wawancara melalui kuesioner, diketahui bahwa masyarakat yang menjadi responden rutin mengonsumsi kerang dan telah terpapar risiko kesehatan non karsinogenik. Frekuensi pajanan responden berkisar antara 12 hingga 40 hari per tahun, sementara durasi pajanan pada penelitian ini menggunakan pendekatan proyeksi 30 tahun ke depan. Hasil analisis menunjukkan bahwa durasi pajanan memiliki kontribusi paling besar terhadap peningkatan risiko kesehatan non karsinogenik, terutama bagi responden yang mengonsumsi kerang secara konsisten dalam rentang waktu panjang tersebut. Semakin lama periode konsumsi, semakin besar pula akumulasi merkuri di dalam tubuh. Temuan ini sejalan dengan tinjauan sistematis oleh Bagia dan kolega (2022), yang menjelaskan bahwa paparan merkuri jangka panjang dapat menyebabkan berbagai gangguan kesehatan, termasuk gangguan sistem saraf, disfungsi hati, dan kerusakan ginjal.

G. Karakteristik Risiko

Hasil perhitungan ARKL menunjukkan bahwa 65 responden yang terpapar merkuri memiliki nilai RQ dengan rentang 0,53 mg/hari hingga 22,87 mg/hari, dan nilai rata-rata sebesar 8,2396 mg/hari. Tingginya nilai risiko tersebut menggambarkan bahwa pajanan logam merkuri memberikan dampak signifikan terhadap kesehatan masyarakat. Dari hasil analisis karakteristik risiko, seluruh responden (100%) tercatat memiliki nilai RQ > 1 untuk efek non karsinogenik dalam periode proyeksi 30 tahun (lifetime). Hal ini mengindikasikan bahwa seluruh masyarakat yang diteliti berpotensi mengalami gangguan kesehatan non karsinogenik akibat paparan merkuri (Hg).

Penelitian yang dilakukan oleh Charkiewicz dan kolega (2025) mendukung temuan ini, di mana paparan merkuri diketahui dapat memicu berbagai gangguan kesehatan yang memengaruhi sistem saraf, pernapasan, serta kardiovaskular. Efek tersebut mencakup kerusakan otak dan ginjal, gangguan hormonal, masalah reproduksi, lesi kulit, gangguan penglihatan, hingga peningkatan risiko kematian pada tingkat pajanan berat. Dengan demikian, masyarakat di wilayah Teluk Manado dinyatakan berisiko mengalami dampak kesehatan non karsinogenik akibat pajanan merkuri dalam jangka panjang. Oleh karena itu, diperlukan upaya manajemen risiko yang tepat untuk menekan dan mengendalikan potensi keracunan merkuri di masa mendatang.

H. Manajemen Risiko

Manajemen risiko bertujuan untuk meminimalkan dampak pajanan merkuri (Hg) melalui jalur ingesti dengan menghitung nilai konsentrasi aman (C) dan laju asupan aman (R). Berdasarkan hasil analisis, konsentrasi aman untuk risiko non karsinogenik berada pada rentang 0,0003–0,02 mg/hari, dengan nilai rata-rata 0,0016 mg/hari. Sementara itu, nilai laju asupan aman diperoleh antara 5,59–189,34 gram/hari, dengan nilai rata-rata 21,5173 gram/hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar merkuri dalam kerang di Teluk Manado memiliki rata-rata 0,008 mg/kg. Setelah dilakukan perhitungan batas aman, ditetapkan bahwa konsentrasi maksimum yang dapat dikonsumsi masyarakat tanpa menimbulkan risiko non karsinogenik adalah $\leq$ 0,0003 mg/kg. Artinya, konsumsi kerang harus dibatasi pada tingkat cemaran tersebut agar masyarakat tidak mengalami gangguan kesehatan akibat paparan jangka panjang. Selain perhitungan teknis, manajemen risiko juga mencakup proses identifikasi risiko, yaitu menelusuri sumber utama kontaminasi merkuri, menentukan kelompok masyarakat yang paling rentan, dan menilai potensi dampak kesehatan berdasarkan kadar merkuri yang terdeteksi serta data toksikologi yang telah tersedia. Upaya ini perlu didukung oleh program pemantauan rutin untuk menguji kadar merkuri pada kerang serta penyediaan informasi kepada masyarakat mengenai potensi bahaya dan cara mengurangi tingkat pajanan. Di sisi lain, masyarakat dapat berperan dengan menurunkan frekuensi konsumsi kerang dan memperkaya variasi lauk harian agar tidak bergantung pada satu jenis makanan laut. Langkah ini membantu menurunkan risiko paparan merkuri secara bertahap.

SIMPULAN

Responden dalam penelitian ini berusia antara 6 hingga 56 tahun, yang termasuk dalam kelompok kanak-kanak hingga dewasa awal, dengan jumlah 33 orang (50,77%). Sementara itu, responden berusia 56 hingga 83 tahun, yang tergolong dewasa akhir hingga lansia, berjumlah 32 orang (40,23%). Berat badan responden berada pada rentang 15,7–83 kg, dengan rata-rata 55,8 kg. Konsentrasi merkuri (Hg) pada kerang Tridacna squamosa dan Conomurex luhuanus yang diperoleh dari Teluk Manado tercatat sebesar 0,008 mg/kg.

Durasi pajanan yang digunakan dalam analisis adalah pajanan sepanjang kehidupan (lifetime) dengan proyeksi 30 tahun. Frekuensi pajanan responden bervariasi antara 2 hingga 40 hari per tahun, dengan 50 responden (76,9%) memiliki frekuensi pajanan ≤12 hari dan 15 responden (23%) memiliki pajanan >12 hari. Nilai intake merkuri (Hg) secara lifetime pada 65 responden menunjukkan rata-rata 0,0008 mg/kg/hari, dengan nilai minimum 5,2814E-05 mg/kg/hari dan maksimum 0,00228 mg/kg/hari.

Hasil karakterisasi risiko menunjukkan nilai RQ yang berkisar antara 0,53 hingga 22,87 mg/hari, dengan rata-rata 8,2396 mg/hari. Karena seluruh responden memiliki RQ > 1, maka dapat disimpulkan bahwa masyarakat di Teluk Manado berisiko mengalami efek kesehatan non karsinogenik dalam kurun waktu 30 tahun mendatang.

Sebagai upaya manajemen risiko, dilakukan perhitungan konsentrasi aman dan konsumsi aman non karsinogenik. Konsentrasi aman diperoleh dalam rentang 0,0003–0,02 mg/kg, dengan nilai rata-rata 0,0016 mg/kg. Sementara itu, konsumsi aman non karsinogenik berada pada kisaran 5,59–189,24 gram/hari, dengan rata-rata 21,51 gram/hari.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada dosen pembimbing atas segala bimbingan, arahan, serta dukungan yang diberikan selama proses penelitian ini berlangsung. Ucapan terima kasih juga penulis tujukan kepada Fakultas Ilmu Kesehatan Masyarakat Universitas Sam Ratulangi yang telah menerbitkan surat izin penelitian, serta kepada serluruh pihak yang membantu dalam setiap proses demi proses.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmed, M. K., Baki, M. A., Kundu, G. K., Islam, M. S., Islam, M. M., & Hossain, M. M. (2016). Human health risks from heavy metals in fish of Buriganga River, Bangladesh. *SpringerPlus*, 5(1), 1–12.

Burger, J., & Gochfeld, M. (2005). Heavy metals in commercial fish in New Jersey. *Environmental Research*, 99(3), 403–412.

Copat, C., Arena, G., Fiore, M., Ledda, C., Fallico, R., Sciacca, S., & Ferrante, M. (2013). Heavy metals concentrations in fish and shellfish from eastern Mediterranean Sea: Consumption advisories. *Food and Chemical Toxicology*, 53, 33–37.

Ishak, R. A., Laekkeng, M., & Mahmud, A. (2024). Pengaruh kualitas produk, harga dan promosi terhadap keputusan pembelian konsumen pada produk karawo di Kota Gorontalo. *Jurnal Online Manajemen ELPEI*, *4*(2), 1059–1068.

Lasut, M. T., Yasuda, Y., Edinger, E. N., & Pangemanan, J. M. (2010). Distribution and accumulation of mercury in marine organisms of Buyat Bay, North Sulawesi, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 60(9), 1617–1625.

Jannah, D. (2022). *Pengaruh Air Sungai Yang Mengandung Logam Berat Terhadap Produktivitas Tanaman Kangkung Darat*.

Maanan, M. (2008). Heavy metal concentrations in marine mollusks from the Moroccan coastal region. *Environmental Pollution*, 153(1), 176–183.

Mariwy, A., Tuasamu, Y., & Warinah, W. (2019). Analisis Kadar Merkuri (Hg) Pada Badan Air Di Beberapa Titik Sungai Waiapu Kabupaten Buru. *Molluca Journal Of Chemistry Education (Mjoce)*, *9*(2), 116–122.

Nova, F. A., & Mahyudi, M. (2019). Penetapan Kadar Cemaran Logam Merkuri Pada Kerang Darah Yang Diperjualbelikan Di Pasar Ikan Cemara Medan Menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom. *Jurnal Analis Laboratorium Medik*, *4*(2).

Nursagita, Y. S., & Titah, H. S. (2021). Kajian Fitoremediasi Untuk Menurunkan Konsentrasi Logam Berat Di Wilayah Pesisir Menggunakan Tumbuhan Mangrove (Studi Kasus: Pencemaran Merkuri Di Teluk Jakarta). *Jurnal Teknik Its*, *10*(1), G22–G28.

Puspitasari, R., & Suratno, S. (2020). Heavy metal contamination and human health risk assessment in bivalves from Indonesian coastal waters. *AACL Bioflux*, 13(4), 2035–2045.

Rahman, M. S., Molla, A. H., Saha, N., & Rahman, A. (2012). Study on heavy metals levels and its risk assessment in some edible fishes from Bangshi River, Bangladesh. *Food Chemistry*, 134(4), 1847–1854.

Razi, N. M., Fildzah, F., Dhani, D. N., Nasir, M., Rizki, A., & Firdus, F. (2023). Literatur Review: Pencemaran Logam Berat Di Pelabuhan Indonesia. *Jurnal Laot Ilmu Kelautan*, *5*(1), 48–61.

Siringoringo, V. T., Pringgenies, D., & Ambariyanto, A. (2022). Kajian Kandungan Logam Berat Merkuri (Hg), Tembaga (Cu), Dan Timbal(Pb) Pada Perna Viridis Di Kotasemarang. *Journal Of Marine Research*, *11*(3), 539–546.

Storelli, M. M., & Marcotrigiano, G. O. (2004). Content of mercury and cadmium in fish (*Thunnus alalunga*) and cephalopods from the Mediterranean Sea. *Food Chemistry*, 85(4), 501–507.

USEPA. (2018). *Risk-based concentration table. United States Environmental Protection Agency.* https://www.epa.gov

Wang, X., Sato, T., Xing, B., & Tao, S. (2005). Health risks of heavy metals to the general public in Tianjin, China via consumption of seafood. *Science of the Total Environment*, 350(1–3), 28–37

Yi, Y., Tang, C., Yi, T., Yang, Z., & Zhang, S. (2017). Health risk assessment of heavy metals in fish and shellfish: A case study in China. *Human and Ecological Risk Assessment*, 23(5), 1112–1124.

Yulistika, N. D. (2023). *Identifikasi Logam Berat Merkuri (Hg) Pada Air Dan Sedimen Di Perairan Teluk Kendari*.