

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Kadmium

Kadmium merupakan logam berat berwarna putih keperakan, bersifat lunak, mengkilap, serta termasuk unsur golongan IIB pada periode 5 dengan nomor atom 48. Kadmium memiliki titik leleh 321°C, titik didih 767°C, dan massa jenis 8,65 g/cm³. Kadmium umumnya terdapat dalam bentuk ion Cd²⁺ yang larut di air, sehingga mudah diserap oleh organisme akuatik. Di tanah, kadmium dalam bentuk Cd²⁺ teradsorpsi pada partikel tanah, dan di udara kadmium berupa partikel halus atau uap logam. Bentuk ion ini menyebabkan kadmium toksik, sulit dieliminasi, dan menumpuk di organ seperti hati dan ginjal. Kadmium juga banyak ditemukan sebagai hasil samping dari pengolahan bijih seng, timbal, dan tembaga, serta digunakan dalam berbagai industri seperti baterai nikel-kadmium, pelapisan logam, pigmen cat, stabilizer plastik, dan keramik. Meskipun bermanfaat, kadmium bersifat toksik apabila terakumulasi dalam tubuh (Ristiana 2019).

1. Toksikokinetika Kadmium

Toksikokinetika merupakan kajian mengenai perjalanan suatu zat toksik didalam tubuh manusia maupun organisme perairan, seperti ikan, yaitu meliputi proses absorpsi (penyerapan), distribusi (penyebaran), metabolisme, dan ekskresi. Proses ini berperan dalam menentukan tingkat akumulasi dan toksisitas suatu zat dalam tubuh. Pemahaman mengenai toksikokinetika kadmium penting untuk menjelaskan terjadinya bioakumulasi serta dampak toksik yang ditimbulkan akibat paparan logam berat kadmium (Ngabekti 2016).

Di lingkungan perairan, kadmium umumnya ditemukan dalam bentuk ion divalen (Cd²⁺) yang larut dalam air dan mudah tersedia bagi organisme akuatik. Bentuk Cd²⁺ menjadi perhatian utama karena memiliki kemiripan sifat kimia dengan ion logam esensial seperti kalsium (Ca²⁺), seng (Zn²⁺), dan besi (Fe²⁺). Kemiripan tersebut memungkinkan Cd²⁺ memasuki sel melalui sistem transpor logam yang normal. Setelah masuk ke dalam tubuh, kadmium sulit dimetabolisme dan diekskresikan sehingga cenderung terakumulasi pada berbagai jaringan,

terutama hati dan ginjal. Sifat ini menyebabkan kadmium memiliki potensi toksisitas yang tinggi serta mampu mengalami bioakumulasi dalam organisme perairan (Suryono 2017).

a. Absorpsi Kadmium

Absorpsi merupakan proses masuknya kadmium ke dalam tubuh pada manusia kadmium dapat diserap melalui saluran pernapasan dan saluran pencernaan, sedangkan pada ikan kadmium dapat diserap melalui insang, saluran pencernaan, serta permukaan tubuh yang kontak langsung dengan air. Penyerapan melalui insang terjadi karena Cd^{2+} dapat memanfaatkan saluran transpor ion kalsium akibat kemiripan sifat kimianya dengan ion Ca^{2+} . Selain itu, kadmium juga dapat masuk ke tubuh ikan melalui konsumsi makanan yang telah terkontaminasi, seperti plankton, benthos, maupun organisme perairan lainnya. Tingkat absorpsi kadmium dipengaruhi oleh konsentrasi logam di lingkungan, lama paparan, pH, suhu, salinitas, serta kondisi fisiologis organisme (Eva Utami 2022).

b. Distribusi Kadmium

Setelah diserap, kadmium akan masuk ke dalam aliran darah dan berikatan dengan eritrosit serta protein plasma, terutama albumin. Selanjutnya, kadmium didistribusikan ke berbagai jaringan tubuh, terutama hati sebagai organ detoksifikasi utama. Di dalam hati, kadmium merangsang pembentukan protein metallothionein yang berfungsi mengikat logam berat. Kompleks kadmium–metallothionein kemudian diedarkan ke berbagai organ dan sebagian besar terakumulasi di ginjal. Karena proses eliminasinya sangat lambat, konsentrasi kadmium dalam jaringan dapat terus meningkat seiring lamanya paparan (Oros 2025).

c. Metabolisme Kadmium

Berbeda dengan banyak senyawa organik yang mengalami perubahan menjadi bentuk yang lebih mudah dikeluarkan dari tubuh, kadmium tidak mengalami metabolisme secara sempurna. Di dalam sel, ion Cd^{2+} terutama berikatan dengan protein metallothionein yang kaya akan gugus sulfhidril (-SH).

Pembentukan kompleks kadmium–metallothionein merupakan salah satu mekanisme pertahanan tubuh untuk mengurangi toksisitas akut logam berat. Namun, proses tersebut tidak mengubah kadmium menjadi bentuk yang lebih mudah dieliminasi. Akibatnya, sebagian besar kadmium tetap tersimpan dalam jaringan tubuh dan dapat menyebabkan akumulasi jangka panjang (Permanawati 2015).

d. Ekskresi Kadmium

Ekskresi merupakan proses pengeluaran kadmium dari tubuh. Kadmium dapat dikeluarkan melalui urin, feses, rambut, dan keringat, tetapi dalam jumlah yang sangat kecil. Laju ekskresi yang rendah menyebabkan kadmium memiliki waktu paruh biologis yang panjang, yaitu sekitar 10–30 tahun pada manusia. Oleh karena itu, paparan kadmium secara terus-menerus, meskipun dalam kadar rendah, dapat menyebabkan akumulasi progresif dalam tubuh dan meningkatkan risiko terjadinya berbagai gangguan kesehatan (Rifka 2024).

2. Dampak Kadmium terhadap Kesehatan Manusia

Keracunan kadmium umumnya bersifat kronis dan terjadi akibat paparan dalam jangka waktu yang panjang. Kadmium yang terakumulasi dalam tubuh dapat menyebabkan kerusakan pada berbagai organ dan sistem fisiologis. Organ target utama kadmium adalah ginjal, karena sebagian besar kadmium yang terikat metallothionein akan terakumulasi pada organ tersebut. Paparan kronis kadmium dapat menyebabkan gangguan fungsi ginjal, proteinuria, serta penurunan kemampuan filtrasi ginjal (Rasydy 2021).

Selain ginjal, kadmium juga dapat memengaruhi sistem pernapasan, sistem kardiovaskular, hati, sistem reproduksi, dan sistem saraf. Kadmium dapat mengganggu metabolisme kalsium sehingga meningkatkan risiko demineralisasi tulang, osteomalasia, dan osteoporosis. Paparan jangka panjang juga diketahui dapat meningkatkan pembentukan radikal bebas yang memicu stres oksidatif dan kerusakan sel (Rasydy 2021).

Besarnya dampak kesehatan yang ditimbulkan oleh paparan kadmium menyebabkan berbagai lembaga dan pemerintah menetapkan batas maksimum

cemaran kadmium pada pangan, termasuk produk perikanan. Berdasarkan Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia Nomor 37/PERMEN-KP/2019 tentang Batas Maksimum Cemaran Logam Berat dalam Hasil Perikanan, kadar maksimum kadmium yang diperbolehkan pada ikan segar adalah 0,05 mg/kg. Penetapan batas maksimum tersebut bertujuan untuk melindungi kesehatan masyarakat dari risiko paparan logam berat melalui konsumsi hasil perikanan yang tercemar (KKP 2019).

B. Ikan Tongkol

Ikan tongkol adalah salah satu hasil laut yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan merupakan salah satu jenis ikan paling banyak dikonsumsi oleh masyarakat Indonesia. Namun, waktu distribusi dari nelayan ke pasar tradisional seringkali memakan durasi yang cukup lama. Kondisi ini memungkinkan mikroorganisme dan enzim dalam tubuh ikan tetap aktif, sehingga mempercepat proses pembusukan setelah ikan mati dan menurunkan kualitasnya sebelum sampai ke tangan konsumen. Proses pembusukan ini dapat diperlambat dengan cara mengendalikan perkembangan mikroba pembusuk yang ada pada ikan (Akhmad and Ghitarina 2023)

Ikan tongkol merupakan jenis ikan pelagis besar yang populer secara lokal ataupun mancanegara. Hal ini sejalan dengan data Kementerian Kelautan dan Perikanan tahun 2021 yang menunjukkan bahwa tongkol merupakan salah satu komoditas ekspor andalan Indonesia, setelah udang, dengan nilai ekspor sebesar USD 228,55 juta per caturwulan pertama. Kementerian Kelautan dan Perikanan menargetkan pencapaian nilai ekspor sumber daya perikanan tuna, cakalang, dan tongkol (TCT) sebesar USD 7,13–8,00 juta pada periode tahun 2022 hingga 2024. Permintaan akan bahan baku ini diperkirakan akan terus tumbuh di masa mendatang, baik dalam bentuk segar maupun olahan. Ikan tongkol merupakan spesies ikan dengan nilai perdagangan tertinggi di tingkat nasional (Yudha 2023).

1. Klasifikasi Ikan Tongkol

Ikan tongkol termasuk kelompok ikan pelagis yang berada dalam famili *Scombridae* dan banyak dimanfaatkan sebagai bahan pangan di Indonesia.

Secara umum, ikan tongkol yang dikenal masyarakat meliputi tongkol abu-abu (*Thunnus tonggol*), tongkol lisong (*Auxis thazard*), tongkol komo (*Euthynnus affinis*) yang di beberapa wilayah juga disebut tongkol krai, serta cakalang (*Katsuwonus pelamis*). Meskipun jenis-jenis tersebut sering dianggap serupa dan dikelompokkan sebagai ikan tongkol dalam aktivitas penangkapan dan perdagangan, masing-masing spesies memiliki perbedaan dalam ukuran tubuh, pola warna, serta karakteristik daging (Thomas Hidayat1 2018)

Pengelompokan berbagai jenis ikan tersebut sebagai “tongkol” dalam konsumsi sehari-hari dapat menyebabkan perbedaan kualitas dan karakteristik produk tidak selalu disadari oleh konsumen. Oleh karena itu, pemahaman mengenai keragaman jenis ikan tongkol menjadi penting, terutama dalam penelitian yang berkaitan dengan mutu ikan, nilai gizi, serta potensi cemaran logam berat yang dapat berbeda antar spesies (Ambeng 2025).

2. Ikan Tongkol Komo (*Euthynnus affinis*)

a. Karakteristik Morfologi Tongkol Komo

Tongkol komo adalah ikan plagis kecil dengan tubuh yang memanjang dan bentuk yang ramping, sehingga memiliki kemampuan berenang di perairan laut terbuka. Panjang tubuh ikan ini biasanya berada pada kisaran 30–40 cm, tetapi dapat mencapai sekitar 50 cm pada beberapa individu yang lebih besar. Warna tubuh bagian atas umumnya gelap biru kehitaman dan ditandai oleh garis-garis gelap miring yang khas di bagian punggungnya, serta bintik-bintik gelap di area antara sirip dada dan perut. Ciri lain yang membedakan spesies ini dari ikan tongkol lain adalah bentuk kepala yang agak runcing dan dua sirip punggung yang terpisah, yang mendukung daya dorong saat berenang (Nadiarti 2022).



Gambar 2.1 Ikan Tongkol (*Euthynnus Affinis*)

(Sumber: Dokumentasi Peneliti, 2025)

Gambar 2.1 menunjukkan bentuk fisik ikan Tongkol Komo. Dari gambar terlihat tubuh ikan yang memanjang dan ramping, sesuai dengan ciri khas ikan pelagis yang aktif berenang di perairan terbuka. Bagian punggung tampak berwarna gelap biru kehitaman dengan garis-garis miring khas, sementara perutnya lebih terang keperakan. Dua sirip punggung yang terpisah dan kepala yang runcing terlihat jelas, mendukung kemampuan ikan ini berenang cepat dan lincah. Gambar ini juga memperlihatkan posisi sirip dada dan bintik-bintik gelap di area perut yang menjadi tanda pengenal tambahan bagi penelitian tentang karakteristik biologis dan ekologi *Euthynnus affinis* (Januarita 2022).

Secara taksonomi, ikan tongkol komo diklasifikasikan sebagai berikut:

Kingdom	: Animalia
Filum	: Chordata
Kelas	: Actinopterygii
Ordo	: Perciformes
Famili	: Scombridae
Genus	: <i>Euthynnus</i>
Spesies	: <i>Euthynnus affinis</i>

b. Siklus Hidup dan Habitat Ikan Tongkol Komo

(1). Siklus Hidup

Ikan tongkol komo adalah ikan pelagis kecil yang berproduksi dengan peletakan telur pelagis di permukaan laut. Telur yang terapung akan menetas menjadi larva yang hidup di lapisan atas dan memakan plankton. Larva kemudian berkembang menjadi juvenil yang aktif berenang, membentuk kelompok, dan mulai menjelajah wilayah laut lebih luas. Pada tahap dewasa, tongkol komo bermigrasi untuk mencari pakan dan tempat pemijahan yang sesuai. Strategi reproduksi ini memungkinkan populasi tetap stabil di perairan tropis (Nadiarti 2022).

(2). Habitat

Tongkol komo hidup di perairan tropis dekat permukaan laut hingga kedalaman sekitar 40 meter. Mereka menyukai suhu hangat 18–29 °C, dan persebarannya dipengaruhi oleh arus, ketersediaan pakan, dan kondisi oseanografi. Aktivitas migrasi mengikuti musim dan ketersediaan plankton, menjadikan persebarannya luas di perairan Indoneisia dan Indo-Pasifik (Thomas Hidayat 2018).

3. Ikan Tongkol Abu-abu (*Thunnus tonggol*)

a. Karakteristik Morfologi Ikan Tongkol Abu-abu

Tongkol abu-abu adalah ikan pelagis dari famili Scombridae yang umum terdapat di perairan tropis dan subtropis Indonesia. Spesies ini memiliki bentuk tubuh yang panjang dan ramping, beradaptasi untuk berenang cepat di kolom air laut. Warna punggung ikan cenderung gelap keabu-abuan, sedangkan bagian perutnya berwarna lebih terang. Ikan tongkol abu-abu seiring diidentifikasi dengan ciri fisik seperti ini ketika melakukan survei genetik dan morfologi di pasar ikan Sagulung, Batam, menunjukkan bahwa sampel yang dikumpulkan memang merupakan tongkol abu-abu yang tersebar luas di laut Indonesia (Yudha 2023)



Gambar 2.2 Ikan Tongkol Abu-Abu (*Thunnus tonggol*)

(Sumber: Dokumentasi Peneliti, 2025)

Gambar 2.2 menunjukkan gambar ikan tongkol abu-abu yang memiliki tubuh panjang dan ramping sehingga dapat berenang cepat di perairan laut. Bagian punggungnya berwarna lebih gelap dan bagian perut lebih terang, yang membantu ikan berkamuflase di laut. Ikan ini memiliki

dua sirip punggung yang terpisah, diikuti sirip-sirip kecil (finlet) menuju ekor, serta sirip ekor berbentuk bulan sabit yang kuat untuk berenang. Ciri morfologi ini menunjukkan bahwa tongkol abu-abu merupakan ikan pelagis aktif yang hidup di perairan terbuka dan memiliki kemampuan migrasi yang luas (Yudha 2023).

Secara ilmiah, tongkol abu-abu terklasifikasi sebagai berikut berdasarkan konsensus taksonomi modern:

Kingdom : Animalia
 Filum : Chordata
 Kelas : Actinopterygii
 Ordo : Perciformes
 Famili : Scombridae
 Subfamili : Scombrinae
 Genus : *Thunnus*
 Spesies : *Thunnus tonggol*

b. Siklus Hidup dan Habitat Tongkol Abu-Abu (*Thunnus tonggol*)

(1). Siklus Hidup

Tongkol abu-abu adalah ikan pelagis besar yang bereproduksi melalui telur pelagis, larvanya hidup di lapisan atas perairan dan memakan plankton sebelum berkembang menjadi juvenil yang berenang aktif. Ikan dewasa melakukan migrasi untuk mencari pakan dan lokasi pemijahan. Fekunditas yang tinggi menunjukkan potensi reproduktif yang besar untuk mempertahankan populasi di perairan tropis (Norita 2019).

(2). Habitat

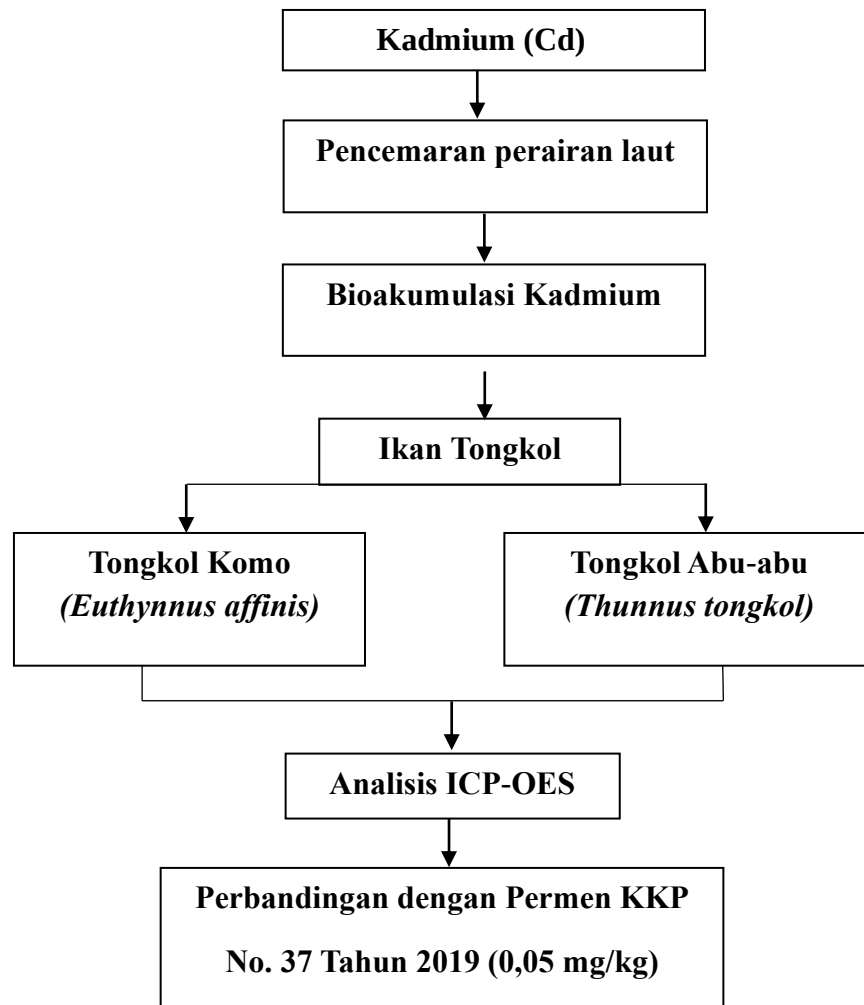
Tongkol abu-abu tersebar dari perairan pesisir hingga laut lepas, biasanya ditemukan pada kedalaman hingga 40 meter dengan suhu optimal 18–29 °C. Persebarannya dipengaruhi oleh arus laut, salinitas, dan ketersediaan pakan. Aktivitas migrasi memungkinkan adaptasi terhadap perubahan lingkungan, sehingga populasi tersebar luas di perairan tropis Indonesia dan Indo-Pasifik (Norita 2019).

C Metode Analisa Kadmium dengan ICP-OES

Uji kuantitatif kadmium dapat dilakukan dengan berbagai metode instrumental, seperti *Inductively Coupled Plasma–Optical Emission Spectroscopy* (ICP-OES), *Spektrofotometri Serapan Atom* (SSA), *spektrofotometri UV-Vis*, dan ICP-MS. Di antara metode tersebut, ICP-OES merupakan salah satu teknik analisis logam yang memiliki sensitivitas tinggi, batas deteksi rendah, serta mampu menganalisis beberapa unsur secara simultan. Prinsip kerja ICP-OES yaitu sampel diubah menjadi aerosol oleh nebulizer dengan bantuan gas argon, kemudian masuk ke dalam plasma bersuhu tinggi sehingga atom kadmium mengalami eksitasi. Atom yang tereksitasi akan kembali ke keadaan dasar (*ground state*) sambil memancarkan radiasi pada panjang gelombang tertentu yang khas untuk unsur kadmium. Intensitas emisi yang dihasilkan berbanding lurus dengan konsentrasi kadmium dalam sampel sehingga dapat digunakan untuk analisis kuantitatif kadar kadmium (Senila 2024)

Sebelum dilakukan analisis menggunakan ICP-OES, sampel perlu melalui tahap preparasi berupa destruksi basah. Salah satu pereaksi yang paling umum digunakan adalah asam nitrat (HNO_3) karena memiliki sifat oksidator kuat yang mampu menguraikan matriks organik pada sampel biologis maupun pangan. Selama proses destruksi, senyawa organik dioksidasi menjadi senyawa yang lebih sederhana sehingga logam kadmium yang terikat dalam jaringan dapat terlepas dan larut dalam bentuk ion Cd^{2+} . Penggunaan HNO_3 secara tunggal maupun kombinasi dengan asam lain terbukti efektif untuk melarutkan logam berat dan menghasilkan preparasi sampel yang baik sebelum analisis menggunakan ICP-OES (Senila 2024)

D. Kerangka Konsep



Gambar 2.3 Kerangka Konsep