

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan Umum Tentang Pencemaran Air Laut

Laut adalah salah satu dari 17 target *Sustainable Development Goals* (SDGs) atau pembangunan berkelanjutan dari tahun 2015 hingga 2030 yang dinilai melalui harmonisasi tiga dimensi pembangunan berkelanjutan yaitu lingkungan, social dan ekonomi (Ningsih, 2015).

Aliran sungai yang membawa beragam macam bahan polutan yang berasal dari daratan dan bermuara di laut. Persepsi masyarakat terkait volume laut yang sangat besar mengakibatkan laut dianggap sebagai sinkronisasi utama bagi limbah manusia karena kemampuannya untuk mencairkan berbagai jenis zat tanpa menimbulkan dampak yang signifikan. Rusaknya keseimbangan laut dan kelestarian alam menjadi risiko dari tercemarnya kelestarian laut dalam konsentrasi yang tinggi yang akan menyebabkan dampak global (Ramadhan, 2018).

Air laut merupakan elemen yang terus-menerus berhubungan dengan lingkungan daratan, karena limbah akhir dari daratan dari hulu akan bermuara ke laut atau hilir. Air laut yang memiliki struktur yang cair mendorong adanya penerima polutan (bahan pencemar) dari udara. Limbah yang mengandung polutan akan masuk ke ekosistem perairan pantai dan laut, akan terakumulasi dalam air dan lainnya akan tenggelam dan terkonsentrasi kedalam sedimen yang mengendap didasar perairan yang menjadi bahan makanan bagi organisme plankton sehingga termakan oleh organisme dasar (Histiari & Yakin, 2021).

Mutu air laut yang digunakan oleh organisme di laut dan kegiatan lainnya lainnya harus memenuhi standar yang ditetapkan dalam segi fisika, kimia dan biologi. Dikatakan dalam penggolongan perairan tercemar ketika memiliki kualitas air laut yang melampaui batas (Hamuna dkk, 2018).

Pencemaran laut diartikan dengan masuknya partikel kimia, limbah pertanian, limbah perumahan, limbah industri, limbah perumahan, kebisingan atau penyebaran organisme invasif ke dalam laut yang memiliki potensi

memberikan efek yang berbahaya dalam jangka waktu yang panjang (Siregar, 2014). Masuknya zat pencemar organik dan anorganik ke ekosistem perairan pantai dapat menyebabkan penurunan fungsi biologis kualitas perairan (Hamuna dkk, 2018).

Menurut peraturan Undang-undang Nomor 32 tahun 2009 tentang Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup pasal 1 ayat (14) merumuskan bahwa “Pencemaran lingkungan hidup adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu lingkungan hidup yang telah ditetapkan” (Sariowan, 2023).

Pencemaran air laut diberbagai negara disebabkan karena pembuangan limbah domestik secara sengaja maupun tidak. Permasalahan sampah di laut menjadi signifikan karena berpotensi memberikan dampak negatif pada manusia melalui interaksi langsung antara manusia dan laut , serta melalui transfer polutan melalui rantai makanan, khususnya melalui ikan dan moluska yang semakin meningkat. Pencemaran yang terjadi di laut bersumber dari beberapa jenis sampah yang terbagi menjadi dua yaitu, sampah akibat aktivitas daratan (*Land-based pollution*) dan sampah akibat aktivitas di lautan (*Sea-based pollution*) (Rinaldi, 2019). Menurut Merliyana (2017) pencemaran laut dapat dibedakan menjadi beberapa, yaitu:

- a. *Industrial pollution* merupakan pencemaran yang diakibatkan oleh limbah industri.
- b. *Sewage pollution* merupakan pencemaran yang diakibatkan oleh sampah.
- c. *Sedimentation pollution* merupakan pencemaran yang diakibatkan karena adanya sedimentasi.
- d. *Agricultural pollution* merupakan pencemaran yang diakibatkan karena adanya kegiatan pertanian.

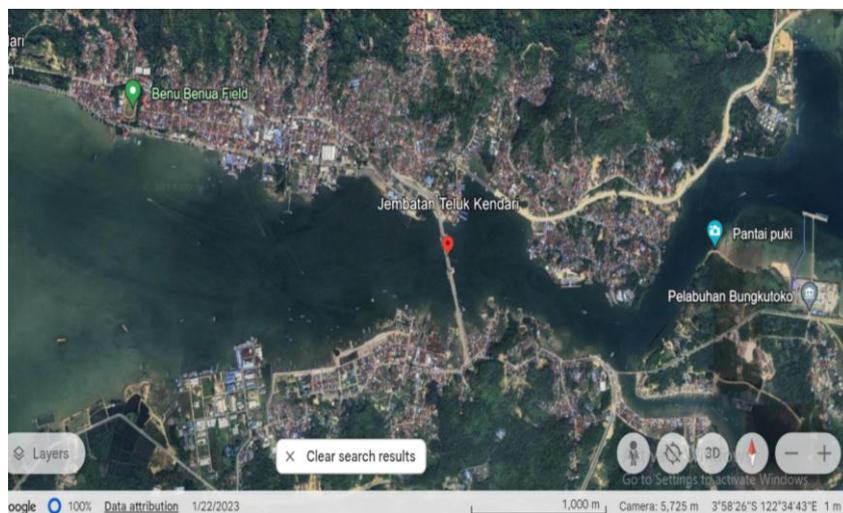
Sedangkan dalam Nasihah (2018) pencemaran dapat berasal dari beberapa sumber berikut:

- a. Proses alam
- b. Aktivitas manusia

- c. Pencemaran lingkungan dari kegiatan rumah tangga dan perorangan
- d. Pencemaran lingkungan akibat kegiatan industri
- e. Pencemaran lingkungan akibat kegiatan pertanian

Pencemar dibagi menjadi dua, yakni yang secara langsung terlihat dampaknya, misalnya gangguan kesehatan langsung atau biasanya dikenal dengan penyakit akut, atau akan dirasakan dalam jangka waktu yang panjang atau biasanya penyakit disebut dengan penyakit kronis. Alam mempunyai potensi untuk menanggulangi sendiri permasalahan-permasalahan tersebut (*self recovery*). Akan tetapi, alam mempunyai dependensi. Setelah melewati batas, maka pencemar akan terakumulasi di alam secara tetap yang kemudian berdampak pada ekosistem, manusia, hewan, tumbuhan dan material. Zat atau elemen yang dapat menimbulkan pencemaran disebut dengan polutan. Polutan memiliki sifat merusak untuk sementara atau merusak dalam jangka waktu yang lama (Nasihah, 2018).

B. Tinjauan Umum Tentang Teluk Kendari



Gambar 1. Letak Geografis Teluk Kendari
(Sumber : Google earth, 2023)

Kota Kendari merupakan Ibukota Provinsi Sulawesi Tenggara yang memiliki laju perkembangan wilayah yang sangat pesat. Kondisi tipografi dan letak geografis yang baik mendorong Kota Kendari terus berkembang dari waktu ke waktu (Astuti dkk, 2021). Teluk Kendari merupakan daerah yang

berada di Pusat Kota Kendari. Perairan Teluk Kendari dan sekitarnya dipengaruhi oleh aktivitas pemukiman penduduk karena letaknya yang berbatasan langsung dengan kawasan perkotaan. Teluk Kendari memiliki luas sekitar 10,84 km² dan merupakan area yang *askeptabel* dalam menyokong aktivitas wisata perkotaan. *Landscape* Teluk Kendari yang menarik dan strategis membuat Teluk Kendari banyak dikunjungi wisatawan lokal dan mancanegara. Kawasan Teluk Kendari memiliki potensi pencemaran yang sangat luas yakni sekitar 75% (Darmayani, 2020).

Sedimen dan kontaminan yang bersifat toksik masuk ke perairan Teluk Kendari dari aliran-aliran sungai dari berbagai kawasan disekitar Teluk Kendari yang melintasi beberapa tempat, antara lain kawasan pemukiman, pertanian dan industri/pertambangan. Perairan Teluk Kendari semakin memburuk, salah satu permasalahan yang terjadi di Teluk Kendari adalah sedimentasi yang berasal dari Daerah Aliran Sungai (DAS). Keadaan ini semakin buruk lagi dengan musim penghujan yang menyebabkan terjadinya sedimentasi, dimana logam dan limbah lain yang tidak mudah larut mengalami mekanisme pengendapan air laut dan mengendap dalam bentuk sedimen (Wibowo dkk, 2020).

C. Tinjauan Umum Tentang Logam Berat

1. Definisi Logam Berat

Logam merupakan materi dasar tambang yang berbentuk padat dan berat, memiliki karakteristik yang dapat dibengkokkan, permukaannya berkilau, dan dapat dasar berat dan padat, mempunyai karakteristik berkilau, dapat dibentuk melalui pembengkokkan serta dilebur menggunakan panas api dan listrik. Logam berat seperti cadmium, tembaga, kobalt, nikel, cromium, seng, merkuri dan timbal dikenal karena potensi bahayanya terhadap lingkungan dalam jangka panjang (Dantje, 2015).

Logam berat diartikan sebagai logam yang memiliki densitas, berat atom atau nomor atom yang tinggi. Zat-zat kimia ini mempunyai berat

jenis lebih dari 5 gr/cm^3 dan sering kali juga dikenal karena sifat toksiknya (Nasihah, 2018).

Secara alami logam ditemukan dalam air dalam jumlah yang sedikit $<1 \mu\text{g}$. Kadar logam berat dalam air berkorelasi dengan banyaknya polusi, yang dapat diklasifikasikan menjadi tingkat polusi sedang, non-polusi dan polusi berat. Pada tingkat konsentrasi sedang, konsentrasi logam berat yang terdapat pada air dan organisme hidup didalamnya berada pada batas yang sedikit. Dilingkungan non-polusi, kadar logam berat yang terdapat pada air dan organisme biasanya sangat rendah atau bahkan tidak terdeteksi. Air yang terpolusi berat cenderung memiliki konsentrasi logam berat yang tinggi baik dalam air maupun dalam organisme hidup didalamnya (Pratiwi, 2020).

Menurut Dantje (2018) membagi logam-logam beracun dalam 4 kelompok, yaitu:

- a. Logam-logam penting (*major metals*) yang menyebabkan pengaruh ganda (*multiple effects*), seperti berkelium (Be), arsenik (As), cromium (Cr), kadmium (Cd), merkuri (Hg), nikel (Ni) dan timbal (Pb).
- b. Logam-logam esensial tetapi memiliki kemampuan memberikan dampak keracunan, seperti mangan (Mn), tembaga (Co), selenium (Se) molibdenum (Mo) dan seng (Zinc).
- c. Logam-logam beracun yang berhubungan dengan terapi medis, seperti bismuth (Bi), aluminium (Al), emas (*Gold-Au*), gallium (Ga), platinum (Pt) dan litium (Li).
- d. Logam-logam beracun minor (*Minor metals*), seperti barium (Ba), antimoni (Sb), mangan (Mn), indium (In), tellurium (Te), perak (Silver-Ag), uranium (U), vanadium (V) dan timah (Tin).

Logam berat dapat terakumulasi dalam lingkungan melalui proses adsorpsi dan pembentukan senyawa kompleks terutama sedimen sungai dan laut yang disebabkan karena adanya ikatana dengan senyawa organik dan anorganik. Hal inilah yang mengakibatkan logam berat termasuk dalam kelompok zat pencemar (Nurul, 2021). Kadar logam berat dalam air

laut berada diantara 0,00001-0,01, kadar ini akan meningkat apabila limbah pertambangan, pertanian, perkotaan dan industri yang banyak mengandung logam berat masuk ke perairan laut (Hakim, 2019).

Efek toksik yang diakibatkan karena logam berat timbul karena logam tersebut akan berikatan dengan senyawa organik, seperti enzim dan protein. Mekanisme penghambatan enzim oleh logam berat terjadi karena logam terjadi melalui interaksi antara logam berat dan gugus sulfida, seperti disulfida (-S-S) dan sulfihidril (-SH) pada enzim. Gugus sulfida memiliki kemampuan untuk mengikat logam berat yang masuk dalam tubuh dan terikat dalam darah. Karena logam berat memiliki afinitas tinggi terhadap gugus sulfida (Wulandari dkk, 2021). Logam berat akan menghambat aktivitas enzim dalam proses metabolisme tubuh, sehingga mengakibatkan terhambatnya proses metabolisme tersebut (Dewi, 2016).

2. Toksisitas Logam Berat

Dantje (2015) menjelaskan tingkat toksisitas logam berat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti:

- a. Spesiasi zat dalam bentuk ion atau senyawa organometalik yang tersebar dalam bentuk larutan atau partikel.
- b. Keberadaan logam berat lainnya dapat memiliki efek, baik dengan memperkuat maupun mengurangi sifat toksik dari setiap elemen tersebut.
- c. Faktor lingkungan seperti suhu, pH, oksigen dan salinitas dapat memberi pengaruh pada aktivitas fisiologis dan metabolisme organisme laut. Hal ini dapat membuat mereka rentan atau kebal terhadap pengaruh toksik dari logam berat.
- d. Kondisi organisme seperti ukuran, usia, jenis kelamin, status gizi dan reproduksi dapat mempengaruhi tingkat sensitivitasnya terhadap efek toksik dari logam berat.
- e. Penyesuaian organisme terhadap zat logam berat yang terabsorpsi terkait dengan mekanisme detoksifikasi yang dimiliki oleh organisme tersebut.

D. Tinjauan Umum Tentang Cromium (Cr)

1. Definisi Cromium (Cr)

Kata cromium (Cr) berasal dari Bahasa Yunani (*chroma*) yang memiliki arti warna (Iverson & Dervan, 2018). Cromium (Cr) adalah logam berat berwarna putih yang cenderung tidak stabil dan mudah mengalami oksidasi. Logam ini memiliki titik lebur sekitar 1.907°C (Wulandari, 2021). Cromium (Cr) termasuk dalam golongan VIB dalam sistem periodic unsur. Logam ini biasanya diperoleh melalui penambangan kromit ($\text{FeO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$). Daya toksisitas cromium (Cr) ditentukan oleh valensi ionnya (Costa, 2019).

Cromium adalah unsur kimia yang memiliki simbol Cr dan memiliki berat atom 24. Unsur ini termasuk dalam kelompok 6 dalam sistem tabel periodik. Pemberian nama cromium (Cr) untuk jenis tembaga ini karena banyak senyawa-senyawa cromium (Cr) yang memiliki warna yang tajam (Dantje, 2015). Cromium memiliki tiga jenis ion yaitu kation Cr (II), kation (III) dan kation (VI) apabila cromium (Cr) larut dalam air (Darmayani, 2020).

Cromium juga dikenal dengan nama-nama lain seperti *anhydrous chromic*, *Chromic acid*, *chromium VIO oxide*, *chromium trioxide*, *calcium chromate*, *lead chromate*, *potassium bichromate*, *potassium chromate*, *sodium chromate*, *zinc chromate* dan *sodium bichromate* (Iverson & Dervan, 2018).



Gambar 2. Logam Berat Cromium (Cr)
(Sumber: Hmn Wiki, 2014)

Logam cromium (Cr) mempunyai bilangan oksidasi yang berbeda tergantung pada kondisi asam atau basa. Pada kondisi asam, ion cromium (Cr) cenderung membentuk HCrO_4^- dan $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ yang dikenal sebagai cromium (Cr) heksavalen (Cr VI). Sedangkan pada kondisi basa, logam cromium (Cr) mudah mengendap atau membentuk logam hidroksida (Costa, 2019).

Centre For Food Safety, Hong Kong tahun 2018 menetapkan batas standar untuk kualitas cromium (Cr) dalam kerang adalah 1 mg/Kg (Zahro dkk, 2023). Kandungan maksimal cromium (Cr) dalam tubuh manusia, yang diukur melalui sampel urin adalah sebesar 0,24-1,8 μg (ATSDR, 2012). Untuk makanan yang mengandung Cromium (Cr) jumlah yang dianggap aman untuk tubuh manusia adalah 0,05-0,2 mg/Kg/hari, sedangkan jumlah diatas 0,2 mg/kg dinyatakan berbahaya bagi tubuh (Wulandari dkk, 2021).

Menurut (Iverson & Dervan, 2018) sifat Cromium ada 2 yaitu:

a. Sifat fisik

Cromium (Cr) memiliki sifat fisik sebagai zat padat serta memiliki warna perak abu-abu, logam berkilau, Kristal (*crystalline solids*, rapuh dan lentur. Cromium (Cr) akan membentuk oksida kromat hijau ketika dipanaskan. Namun, logam ini tidak stabil dilingkungan yang mengandung oksigen dan dengan cepat membentuk lapisan oksida tipis.

b. Sifat kimia

Cromium (Cr) merupakan unsur kimia yang terdapat dalam tabel periodik dengan simbol Cr dan nomor atom 24.

Cromium (Cr) dapat masuk melalui dua acara dalam perairan yaitu secara alami dan non alamiah. Masuknya cromium (Cr) secara alami dapat terjadi karena beberapa faktor fisika, seperti erosi pada batuan mineral. Sementara itu, masuknya cromium (Cr) secara non alamiah merupakan akibat dari aktivitas manusia (Iverson & Dervan, 2018).

2. Toksisitas Cromium (Cr)

Paparan logam yang memiliki konsentrasi tinggi pada manusia dapat menyebabkan potensi bahaya melalui sifatnya yang toksik, genotoksik dan karsinogenik. Secara umum, paparan logam berat dapat terjadi melalui tiga jalur, yaitu melalui konsumsi makanan atau minuman (oral), inhalasi (pernafasan) dan kontak langsung dengan kulit (Wulandari dkk, 2021).

Menurut (Iverson & Dervan, 2018) ada tiga jalur penyerapan zat toksik, yaitu:

- a. Proses menelan (*Ingestion*), toksikan diubah oleh enzim, pH dan mikroba.
- b. Pernafasan (*Respiration*), toksikan yang masuk melalui zat berbahaya diudara/*airbone toxicants*
- c. Permukaan tubuh (*Body surface*), toksikan yang larut dalam lemak seperti *carbon tetrachloride* dan *organophosphate*.

Cromium (Cr) adalah suatu senyawa kimia yang sulit terurai dilingkungan mudah terakumulasi dan memiliki toksisitas yang tinggi. Senyawa ini dapat terakumulasi dalam tubuh manusia melalui rantai makanan. Cromium heksavalen (Cr(VI)) diketahui lebih toksik dibandingkan cromium trivalent (Cr(III)), baik dalam paparan akut maupun kronis. Bahkan, tingkat toksisitas cromium (Cr(VI)) sangat tinggi sehingga dapat berbahaya bagi semua organisme pada konsentrasi di atas 0,05 ppm. Selain itu, Cromium (Cr(VI)) bersifat karsinogenik dan dapat menyebabkan iritasi pada kulit manusia (Fauzia, 2016).

3. Efek Toksisitas Cromium (Cr)

Logam berat cromium (Cr) beracun bagi manusia. Dalam awal penemuannya di jepang pada tahun 1960, diketahui bahwa adanya pengaruh racun ini terjadi di daerah sekitar pabrik Kiryama, Nippon-Denko Concern di Pulau Hokkaido. Pada awalnya, penyakit ini tidak diketahui. Namun, setelah dilakukan penelitian ternyata diketahui bahwa dua dari lima penyakit tersebut disebabkan oleh masyarakat yang

menghirup debu limbah industri yang mengandung cromium bervalensi IV (Cr^{+4}) dan (Cr^{+6}).

Akumulasi cromium (Cr) dalam tubuh manusia dapat menyebabkan kerusakan dalam sistem organ tubuh. Efek toksisitas cromium (Cr) dapat merusak dan mengiritasi, paru-paru hidung, lambung dan usus. Konsumsi makanan yang mengandung cromium (Cr) dalam kadar yang melewati ambang batas yang ditentukan dapat mengakibatkan kerusakan pada ginjal, gangguan perut, kejang, bisul, kerusakan hati bahkan kematian. Populasi umum terpapar cromium (Cr) melalui udara yang diudara yang dihirup, konsumsi makanan dan minuman yang mengandung cromium (Cr) Nasihah (2015). Iverson & Dervan (2018) menjelaskan bahwa ada beberapa efek dari paparan cromium (Cr) pada tubuh manusia, yaitu:

- a. Efek fisiologi, cromium heksavalen (Cr(VI)) adalah kemampuannya untuk dengan mudah menembus membran sel dan mengalami reduksi didalamnya. Organ-organ utama yang dapat rentan terhadap efeknya adalah ginjal, hati, kulit dan sistem imunitas. Cromium (Cr) juga dapat ditransfer ke embrio melalui plasenta.
- b. Efek pada kulit, dikromat asam kromat dan cromium heksavalen (Cr(VI)) memiliki sifat yang kuat dan juga sebagai iritan dan juga bersifat korosif. Jika terjadi kontak langsung, dapat menyebabkan alergi.
- c. Efek pada saluran pernapasan, iritasi paru-paru disebabkan oleh inhalasi debu cromium (Cr) yang dihasilkan dari proses produksi dalam jangka yang lama. Hal ini dapat menyebabkan iritasi kronis, penyumbatan dan *hiperemia*, *rhinitis kronis*, *polip*, *trakheobronkhitis* dan *faringitis kronis*. Cromium (Cr) dilaporkan dapat menyebabkan reaksi *delayed anaphylactic reaction*.
- d. Efek pada ginjal, gangguan pada ginjal dapat terjadi setelah menghirup dan menelan cromium (Cr).

- e. Efek pada hati, paparan akut cromium (Cr) dapat menyebabkan nekrosis hati.. Inhalasi kronis cromium (Cr) juga dapat menyebabkan hepatitis akut (*jaundice*) dan berdampak pada hati.
- f. Efek pada saluran pencernaan, cromium (Cr) dapat masuk melalui makanan atau tertelan yang dapat menyebabkan sakit perut dan muntah.
- g. Efek karsinogenik
- h. Efek terhadap pertumbuhan dan reproduksi, cromium trivalent (Cr(III)) merupakan zat yang paling penting bagi tubuh dan dapat menembus plasenta. Pada hewan, efeknya termasuk *hydrocephalus*, *cleft palatum*, proses pembentukan tulang terhambat, bengkak dan *incomplete neural tube closure*.

Wulaningtyas (2018), efek toksisitas cromium (Cr) dibagi menjadi dua, yakni efek akut dan efek kronis, yaitu;

- a. Efek akut
 - 1) Jika cromium (Cr) tertelan akan menyebabkan nekrosis hati, perdarahan pada saluran cerna, nekrosis tubuler ginjal bahkan kematian.
 - 2) Jika terhirup, dapat menyebabkan sesak napas, bersin, sakit kepala, kehilangan suara, *wheezing*, kerusakan ginjal serta kongesti paru.
 - 3) Jika terkena mata, dapat menyebabkan konjungtivitas pada kornea bahkan mengalami kebutaan.
 - 4) Jika terkena kulit, dapat menyebabkan dermatitis kontak alergika, dermatitis kontak iritan, muntah, kerusakan ginjal, mual bahkan mengalami koma.
- b. Efek kronis
 - 1) Dermatitis alergik dan iritasi dapat menyebabkan ulkus kulit tanpa rasa nyeri.
 - 2) Terjadi iritasi pada saluran pernapasan yang dapat menyebabkan *emfisema*, *bronchitis*, *rhinitis*, *faringitis*, dan kondisi lainnya.

- 3) Pada darah dapat terjadi peningkatan jumlah sel darah putih (*leukositosis*), penurunan jumlah sel darah putih (*leukopenia*) dan peningkatan jumlah eosinophil (*eosinophilia*).
- 4) Terjadi radang pada konjungtiva, terdapat warna merah gelap disekitar kornea dan dapat menyebabkan produksi air mata (lakrimasi).

4. Mekanisme Kerja Cromium (Cr)

Senyawa-senyawa dengan berat molekul rendah yang terdapat dalam sel darah rendah memiliki kemampuan untuk melarutkan cromium (Cr) dan kemudian tersebar ke seluruh tubuh melalui peredaran darah. Cromium heksavalen (Cr(VI)) dapat melewati membran sel melalui empat mekanisme yaitu, difusi pasif melalui membran, filtrasi melalui pori-pori membran, tranpor dengan perantaraan *carrier* dan endositosis oleh sel. Menurut Iverson & Dervan (2018) mekanisme kerja logam berat cromium (Cr) adalah sebagai berikut:

a. *Absorpsi*

Cromium heksavalen (Cr(VI)) memiliki kemampuan untuk menembus membran sel, sedangkan cromium trivalent (Cr(III)) tidak dapat menembus langsung. Namun, cromium trivalent (Cr(III)) cenderung berikatan dengan transfermin, sebuah protein yang mengangkut Fe dalam plasma. Secara umum, penyerapan senyawa cromium trivalent (Cr(III)) lebih rendah dibandingkan dengan senyawa cromium heksavalen (Cr(VI)).

b. *Biotransformasi*

Senyawa-senyawa cromium heksavalen (Cr(VI)) akan mengalami reduksi kedalam bentuk trivalent (III) dalam tubuh. Laju reduksi ini bergantung pada kadar unsur dalam organ yang terpapar dan mempengaruhi toksisitas serta ekskresi senyawa heksavalen (VI).

c. *Ekskresi*

Ekskresi cromium (Cr) melalui urin terjadi tanpa ada penahanan di organ. Sekitar 60% cromium (VI) yang terabsorpsi akan

diekskresikan dalam bentuk cromium (III) selama 8 jam setelah tertelan. 10% akan diekskresikan melalui empedu dan sebagian kecil dilewar kuku, keringat, ASI, dan rambut.

5. Faktor Risiko Toksisitas Cromium (Cr)

Berniyanti (2018) menyatakan ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi daya kerja dari cromium (Cr), yaitu:

a. Usia

Neonatus memiliki kerentanan yang tinggi terhadap cromium (Cr) dibandingkan dengan yang lebih dewasa. Organisme muda memiliki kemampuan 1,5-10 kali lebih rentan dibandingkan dengan orang dewasa terhadap sebagian besar zat beracun. Anak-anak lebih rentan terhadap zat beracun karena memiliki kepekaan dan tingkat penyerapan lebih cepat dalam saluran cerna, bisa juga diakibatkan oleh defisiensi berbagai jenis enzim detoksikasi.

Semakin seseorang bertambahnya usia, maka semakin rentan terhadap paparan zat toksik karena terjadi penurunan fungsi organ tubuh seperti ginjal dan mekanisme enzim.

b. Jenis kelamin

Terdapat perbedaan signifikan dalam kerentanan terhadap toksisitas logam berat antara laki-laki dan perempuan. Perempuan memiliki tingkat sensitivitas yang lebih tinggi terhadap zat beracun dibandingkan dengan laki-laki.

c. Lama paparan

Efek toksik cromium (Cr) sangat terkait dengan tingkat dan durasi paparan. Semakin tinggi kadar cromium (Cr) dan semakin lama paparannya, efek toksik yang dihasilkan akan semakin tinggi. Lama paparan merupakan faktor yang penting dalam menentukan dampak kesehatan dari suatu zat beracun.

d. Frekuensi paparan

Frekuensi paparan merupakan interval waktu atau seberapa sering seseorang terpapar suatu zat toksik. Frekuensi paparan dapat

mempengaruhi efek toksik dari suatu zat beracun. Jika suatu zat toksik seperti cromium (Cr) menyebabkan efek toksik akut setelah paparan tunggal, kemungkinan zat tersebut tidak akan bersifat toksik atau menyebabkan efek toksik kronis jika paparan terjadi secara berulang dengan total konsentrasi paparan yang sama.

E. Tinjauan Umum Tentang Kerang (*Bivalvia*)

1. Definisi Kerang (*Bivalvia*)

Kerang merupakan hewan laut yang termasuk dalam kelompok tidak memiliki tulang belakang (*invertebrata*) dan termasuk dalam kelas *Mollusca* yang memiliki tubuh lunak. Karena kandungan protein yang tinggi, daging kerang sering dimanfaatkan sebagai sumber bahan makanan (Zahro dkk, 2023).

Kerang dikenal sebagai *bivalvia* dalam Bahasa Latin dan merupakan jenis yang termasuk kedalam kelas *Mollusca* yang mencakup berbagai jenis kerang. *Bivalvia* memiliki sepasang cangkang. Selain itu, *Bivalvia* juga dikenal dengan nama lain yaitu *lamelli branchia*. Beberapa contoh jenis kerang yang termasuk dalam kelompok ini kupang, remis, kijing, lokan, simping, tiram, serta kima (Ley, 2017).

Nama "*Bivalvia*" sendiri berasal dari kata *bi* yang berarti duadan *valve* yang berarti kutub, mengacu pada hewan ini memiliki dua belahan cangkang. Sedangkan istilah "*Pelecypoda*" berasal dari kata *pelekhis* yang berarti kapak kecil dan "*poda*" yang berarti kaki, menggambarkan hewan ini yang memiliki kaki pipih seperti kapak kecil (Riani, 2020).

2. Habitat kerang (*Bivalvia sp.*)

Bivalvia hidup dan tersebar luas diseluruh pesisir perairan Indonesia. Faktor yang membatasi kepadatan habitat kerang dapat digolongkan menjadi dua faktor yaitu faktor alam yang meliputi kecenderungan tingkah laku biota dalam memilih tipe habitat yang akan disukai, serta faktor eksternal yang mencakup segala sesuatu yang terkait dengan interaksi

biota dengan lingkungan. Pratama (2015), berdasarkan habitatnya, *bivalvia sp.* dikelompokkan ke dalam:

a. *Bivalvia* yang hidup di perairan mangrove

Habitat mangrove memiliki ciri-ciri yang khas. Hal ini dapat ditandai dengan perubahan salinitas yang besar, besarnya kandungan bahan organik, kandungan H₂S yang tinggi sebagai hasil penguraian sisa bahan organik dalam lingkungan yang kurang oksigen dan DO yang minimal. Misalnya, *Gelonia coxans*.

b. *Bivalvia* yang hidup di perairan dangkal

Jenis-jenis yang ditemukan di perairan dangkal dapat diklasifikasikan berdasarkan berdasarkan lingkungan tempat mereka hidup, seperti di daerah dengan kisaran pasang surut yang rendah hingga kedalaman 2 meter. Sebagai contohnya yaitu *Mitra sp.*

c. *Bivalvia* yang hidup di lepas pantai

Habitatnya di lepas pantai mencakup wilayah perairan sekitar pulau dengan kedalaman antara 20 sampai 40 m. Jenis *bivalvia* yang ditemukan di daerah ini adalah: *Chalamis sp*, *Pilicia sp*, *Pleuronectus sp*, *Amussium sp*, *Soli asp*, *malleus albus*, *Pincatada maxima*, *Spondylus hysteria* dan yang lainnya.

3. Morfologi Kerang (*Bivalvia sp.*)

Bivalvia adalah salah satu kelas moluska biasanya dicirikan oleh cangkang kerang yang simetris bilateral, berfungsi dengan menggunakan otot aduktor dan reduktornya. Ciri khas lainnya antara lain adanya gigi engsel dan ligament pada bagian dorsal, serta mulut yang dilengkapi dengan laial-palp, namun tidak memiliki rahang dan radula (Dhalia, 2017).

Menurut Khalil (2016) menjelaskan bahwa *Bivalvia* dapat diidentifikasi berdasarkan beberapa ciri khas, yaitu:

a. Tubuhnya memiliki bentuk yang dikompresi pada sisi-sisinya, menunjukkan simetris bilateral dengan otot tubuh lembut berada diantara dua cangkang lateral.

- b. Cangkangnya terbagi menjadi dua bagian, yakni yang terhubung dibagian dorsal oleh ligament yang lentur dan gigi kerang.
- c. Cangkangnya dilindungi oleh otot aduktor dan diperkuat oleh ligamen engsel.

Menurut Harahap (2017) cangkang kerang tersdiri dari tiga lapisan yaitu:

- a. *Periostrakum*, lapisan terluar yang tersusun atas zat tanduk, bersifat tipis dan gelap.
- b. *Prismatik*, bagian lapisan tengah yang tebal, terdiri dari kristal-kristal CaCO_3 yang memiliki bentuk prisma.
- c. *Nakreas*, biasanya dikenal sebagai lapisan mutiara merupakan lapisan terdalam yang terbuat dari kristal CaCO_3 yang halus dan berbeda dengan kristal-kristal pada lapisan prismatik.

Selain cangkang, tubuh dan organ dalam *bivalvia* dilindungi oleh sebuah mantel. Mantel ini terletak di dalam cangkang yang berbentuk jaringan tipis. Mantel memiliki lubang didalamnya yang berfungsi sebagai tempat masuknya air yang disebut *inhalant siphon* dan lubang untuk keluarnya air yang disebut *incurrent siphon*. Kedua lubang ini terletak di bagian belakang dan memiliki bentuk yang panjang. Struktur insang pada *bivalvia* tersusun atas lembaran bebentuk seperti sisir yang disebut *lamella* (Harahap, 2017).

Bivalvia dibantu oleh kaki untuk melakukan pergerakan yang berada diantara cangkang yang berkembang atau menyangkut pada dasar material. Pergerakan ini melibatkan kontraksi otot sehingga terjadi tarik ulur. Aktivitas ini diaktifkan oleh masuknya darah ke dalam sinus otot-otot kaki. Beberapa jenis kerang dapat menempel pada substrat yang keras menggunakan *byssus*, yaitu serat yang keluar dari tubuhnya. Terdapat jenis kerang tertentu yang tidak dapat berpindah tempat karena dalam proses pembentukan cangkang. Tepi mantel menghasilkan perekat yang melekatkan kerang ke substrat sehingga mengeras (Septiana, 2017).

Kerang atau *bivalvia* tidak mempunyai kepala dan mata didalam tubuhnya. Kerang terdiri dari tiga komponen utama, yaitu mantel, kaki dan organ dalam. Kaki dapat diperpanjang dan diperpendek diantara dua cangkang tertutup, berfungsi untuk pergerakan (Pratama, 2015).

4. Klasifikasi Kerang (*Bivalvia sp.*)

Harahap (2017), *bivalvia* dibagi menjadi empat subkelas dengan setiap *ordo* yang berbeda. Pembagian ini didasarkan pada posisi insang, ciri-ciri dan morfologi dari setiap subkelas.

a. Subclassis : *Protobranchia*

Ordo 1. *Solemyacea* (2 suku)

Ordo 2. *Nuculacea* (10 suku)

b. Subclassis : *Septibranchia*

Ordo 1. *Arcacea* (7 suku)

Ordo 2. *Mytilacea* (*Mytilidae*)

c. Subclassis : *Septibranchia*

Ordo 1. *Poromyacea* (3 suku)

d. Subclassis : *Pseudolamellibranchia*

Ordo 1. *Anomiacea* (*Anomiidae*).

Ordo 2. *Pactinacea* (*Amusiidae*, *Pectinidae* dan *Spondylidae*).

Ordo 3. *Ostreacea* (*Pinnidae*, *Grypheididae*, *Plicatulidae* dan *Pteridae*).

Ordo 4. *Pteriacea* (*Malleidae*, *Pteridae*, *Isognomonidae* dan *Pinnidae*).

Septiana (2017), Klasifikasi *Bivalvia* memiliki keragaman yang besar dan terbagi menjadi 3 ordo yaitu *Toxodonta*, *Anisomyaria* dan *Veneroida*. Berikut ini adalah ordo-ordo dari *bivalvia*:

a. *Ordo Taxodonta*

Gigi pada engsel (*hinge*) memiliki bentuk yang memanjang dan seragam, kedua otot aduktor memiliki ukuran yang hampir sama, tidak ada pertautan antar filament insang serta berhabitat di pantai. *Bivalvia* ini termasuk dalam *family Arcidae* dan *Trisidos* yang memiliki variasi bentuk dan panjang cangkang tergantung pada jenisnya. Lapisan luar

cangkang berwarna putih dengan jalur-jalur radial yang terlihat jelas. Sedangkan lapisan dalam berwarna putih keruh.

b. *Ordo Anisomyaria*

Anisomyaria memiliki otot aduktor anterior yang kecil atau tidak ada, sedangkan otot posteriornya besar. Ordo ini tidak memiliki sifon dan pertautan antara filamennya terhubung dengan *cilia*. Biasanya, ordo ini bersifat *sessile*, memiliki kaki yang kecil dan memiliki *byssus*. Beberapa anggota keluarga dari ordo ini termasuk *Arcidae*, *Mytilidae*, *Pinnidae* dan masih banyak lagi.

c. *Ordo Veneroida*

Pada ordo ini memiliki cangkang dengan ukuran yang sama tanpa adanya lapisan mutiara, memiliki gigi cardial dengan jumlah yang sedikit, terdapat sifon dan insangnya termasuk dalam tipe *eulamelibranchia*. Anggota *ordo Veneroida* adalah spesies yang memiliki *byssus* fungsional pada tahap larva dan kemudian hilang pada tahap dewasa, biasanya dianggap sebagai ciri yang posistif.

Menurut Darmayani (2020), Kota Kendari memiliki potensi Sumber daya hayati *bivalvia*. Teluk Kendari terdapat beberapa jenis *bivalvia* yang ditemukan, antara lain adalah spesies kerang mata tujuh (*Haliotis squamata*), kerang darah (*Anadara granosa*) dan kerang bulu (*Anadara antiquata*).

1) **Kerang Darah (*Anadara granosa*)**



Gambar 3. Kerang Darah (*Anadara granosa*)
(Sumber: Mutia CA, 2023)

Kerang darah dikenal sebagai organisme pemakan saring baik sebagai pemakan endapan maupun pemakan penyaring yang mendapatkan makanannya melalui penyaringan partikel yang terlarut dalam air. Makanan utama kerang ini adalah plankton, terutama fitoplankton (Sulistiyarningsih & Arbi, 2020). Kerang darah hidup di laut terutama di daerah pesisir dan hidup didasar perairan yang berpasir. Kerang darah (*Anadara granosa*) masuk kedalam kelas *Lamellibranchiata* bersama dengan tiram, remis dan lainnya (Pratama, 2015).

Kerang darah termasuk dalam kelompok organisme laut yang memiliki pergerakan lambat, hidup menetap di habitat tertentu seperti sedimen atau dasar laut. Hal ini menyebabkan proses biakumulasi dan biokonsentrasi berlangsung dengan intensitas yang lebih tinggi. Sebagai akibatnya, berbagai jenis polutan yang ada di lingkungan perairan dapat masuk kedalam tubuh kerang, termasuk logam berat (Tuhumury & Ritonga, 2020).

Spermatogenesis dan *oogenesis* pada kerang darah memiliki pola yang mirip dengan pola pada semua jenis *bivalvia*. Pada kerang darah individu jantan memiliki tingkat aktivitas gametogenik yang lebih cepat dibandingkan betina (Sulistiyarningsih & Arbi, 2020). Kerang darah memiliki kelamin yang terpisah, dimana kerang darah akan melepaskan sperma dan telur ke dalam perairan untuk proses pembuahan (Ahmad, 2017).

Kerang darah adalah salah satu jenis kerang yang sering dikonsumsi oleh masyarakat. Kerang darah (*Anadara granosa*) memiliki peran sebagai indikator lingkungan yang baik. Jenis kerang anggota suku *Arcidae* ini disebut kerang darah karena menghasilkan hemoglobin dalam cairan merahnya. Kerang darah hidup di dasar perairan dan memiliki ciri khas yaitu ditutupi oleh dua keping cangkang (*valve*) yang dapat dibuka dan ditutup berkat adanya

persendian berupa engsel elastis yang menghubungkan kedua *valve* tersebut (Ali, 2017).

Daerah tempat kerang darah hidup terletak antara tingkat pasang penuh hingga pasang terendah, terutama di Teluk yang memiliki banyak bakau dan air payau yang keluar. Kelangsungan hidup kerang darah kisaran toleransi sekitar 7,6-7,7% dengan salinitas berkisar antara 20-25 ppt. Hal ini dikarenakan kerang memiliki toleransi yang tinggi terhadap salinitas perairan, yaitu berkisar antara 14-30 ppt dengan kedalaman perairan sekitar 1-2 meter dan ketebalan lumpur antara 20-60 cm (Tabarearno dkk, 2019).

a. Klasifikasi Kerang Darah (*Anadara granosa*)

Ginting dkk (2017) membagi klasifikasi kerang darah diantaranya sebagai berikut:

<i>Kingdom</i>	: <i>Animalia</i>
<i>Filum</i>	: <i>Moluska</i>
<i>Class</i>	: <i>Bivalvia</i>
<i>Ordo</i>	: <i>Arcoida</i>
<i>Famili</i>	: <i>Arcidae</i>
<i>Genus</i>	: <i>Anadara</i>
<i>Spesies</i>	: <i>Anadara granosa</i>

b. Morfologi Kerang Darah (*Anadara granosa*)

Cangkang kerang darah terdiri dari tiga lapisan, yaitu pertama lapisan periostrakum berfungsi sebagai pelindung dan disusun oleh kalsium karbonat (CaCO_3). Kedua, lapisan perismatik atau lapisan palisade. Ketiga, lapisan nakreas atau *hypostracum* yang terletak dibagian paling dalam dan merupakan tempat melekatnya mutiara (Zahra, 2021). *Periostrakum* pada kerang darah relative tipis dan halus dengan tepi bagian dalam yang bergerigi serta tidak memiliki *byssus* (Ginting dkk, 2017).

Kerang darah (*Anadara granosa*) terdiri dari dua cangkang yang dapat membuka dan menutup karena adanya pergerakan otot.

Cangkang ini cenderung berbentuk bulat dan simetris, tebal, kasar, bergerigi di bagian ujungnya dan tidak ditumbuhi rambut. Cangkang kerang darah terdapat garis palial yang berwarna putih mengkilat, terletak dibagian luar dan dalam. Daging kerang darah memiliki warna merah dengan ukuran dewasa berkisar antara 6-9 cm (Zahra, 2021).

2) Kerang Bulu (*Anadara antiquata*)



Gambar 4. Kerang Bulu (*Anadara antiquata*)
(Sumber: Adminfkip, 2023)

Kerang bulu (*Anadara antiquata*) adalah salah satu sumber daya hayati dalam perairan yang bukan ikan yang termasuk *family Arcidae* dan kelas *bivalvia*. Kerang bulu hidup dengan cara menenggelamkan diri ke dalam pasir atau lumpur (Silaban dkk, 2021). Kaol (2017), kerang bulu merupakan salah satu spesies yang termasuk dalam *filum Moluska* dan kelas *Bivalvia*. Ciri khas yang dimiliki kerang bulu yaitu mulut yang terdiri dari palpus-palpus dan melimpah pada substrat berlumpur.

Kerang bulu masuk kedalam jenis hewan *hermafrodit*, yang berarti hewan ini memiliki dua kelamin atau kelamin ganda yaitu kelamin jantan dan betina dalam satu individu. Ketika kerang bulu siap untuk berkembang biak, kerang bulu akan bermigrasi ke daerah pantai yang memiliki lumpur sebagai bersubtrat lumpur dan banyak tumbuhan alga atau rumput laut. Kerang bulu akan mengeluarkan telur dan sperma secara bersamaan disekitar batu-vatuan untuk melindungi

dari predator dan memungkinkan telur mereka menetas dengan aman (Kaol, 2017).

a. Klasifikasi Kerang Bulu (*Anadara antiquata*)

Ma'rifatul (2017) membagi Klasifikasi kerang bulu sebagai berikut:

<i>Kingdom</i>	: <i>Animalia</i>
<i>Filum</i>	: <i>Mollusca</i>
<i>Class</i>	: <i>Bivalvia</i>
<i>Ordo</i>	: <i>Taxodonta</i>
<i>Superfamili</i>	: <i>Arcacea</i>
<i>Famili</i>	: <i>Arcidae</i>
<i>Genus</i>	: <i>Anadara</i>
<i>Spesies</i>	: <i>Anadara antiquata</i>

b. Morfologi Kerang bulu (*Anadara antiquata*)

Struktur anatomi moluska kerang yang dikenal dengan *Anadara antiquata* atau kerang bulu dapat dikategorikan menjadi lima komponen utama yaitu, kepala (*head*), kaki (*food byssus*), cangkang (*shell*), bagian alat pencernaan dan reproduksi (*Visceral mess*) dan selaput (*mantle*). Pada bagian kepala berisi organ syaraf sensorik dan mulut, sedangkan Bagian byssus berfungsi sebagai kontraktif yang memfasilitasi gerakan. Ciri kerang bulu adalah cangkangnya yang tersusun atas dua katup yang bertemu dan berpigmen coklat tua. Morfologi keseluruhannya hampir dan pada mulut cangkangnya biasanya memiliki bulu-bulu kecil (Ma'rifatul, 2017).

Cangkang kerang bulu tersusun atas tiga lapisan, yaitu *periostrakum*, lapisan prismatic dan lapisan mutiara atau nukreas. *Periostrakum* adalah lapisan kitin eksternal yang berfungsi sebagai pelindung. Lapisan prismatic terbentuk dari kristal kalsit berbentuk prisma, sedangkan lapisan mutiara yang sering disebut lapisan induk mutiara tersusun rapi dari lapisan kalsit tipis. Cangkang

kerang bulu berukuran panjang 3,6-4,5 cm dan lebar 2,9-3,4 cm, dengan bentuk padat subpersegi panjang dan tepi posterior panjang (Ginting, 2017).

Bagian cangkang kerang bulu paling tebal dan menonjol disebut umbo yang terletak di bagian persendian. Umbo merupakan pusat tumbuhnya cangkang sehingga sering disebut sebagai bagian cangkang tertua. Bagian dalam cangkang berwarna putih dan memiliki garis pallial tanpa berkas otot sinus pada bagian persendian disebut *umbo* (Nurrohmah, 2018). Tubuh kerang bulu yang lunak terdiri atas alat reproduksi, alat pencernaan, alat pernafasan, kaki *muscular* dan menempel pada bagian cangkang (Natal, 2017).

Kerang bulu (*Anadara antiquata*) memiliki struktur berbentuk tabung yang disebut siphon, terdiri dari dua saluran yakni saluran untuk pemasukan air dan satu lagi untuk ekskresi air. Karena strukturnya yang demikian, kerang bulu juga dikenal sebagai *Filter feeder* untuk memenuhi kebutuhan nutrisinya dengan menyaring air. Morfologi kerang bulu dapat berfluktuasi berdasarkan perubahan lingkungan dan faktor ekologi lainnya. Variasi ciri morfologi tersebut dapat disebabkan oleh beberapa faktor antara lain genetik, umur, jenis kelamin, pola makan, tahapan siklus hidup, morfologi tubuh, dan habitat (Nurrohmah, 2018).

F. Tinjauan Umum Tentang Urin

1. Definisi Urin

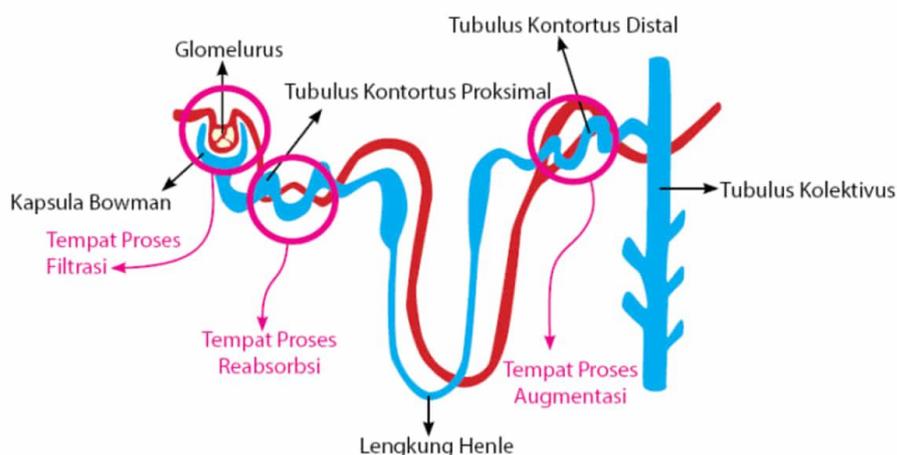
Urin adalah hasil metabolisme tubuh yang diekskresikan melalui ginjal. Dari 1200 mL darah yang melewati glomeruli, terbentuk filtrat sebanyak 120 mL per menit. Filtrat ini kemudian mengalami proses reabsorpsi, difusi, dan ekskresi oleh tubulus ginjal, menghasilkan 1 mL

urin per menit. Dalam kondisi normal, individu dewasa akan menghasilkan 1200-1500 mL urin per hari (Ode, 2016).

Ekskresi urin penting untuk menghilangkan molekul sisa dari darah yang telah disaring oleh ginjal dan ditransportasikan melalui ureter ke kandung kemih untuk menjaga homeostasis cairan tubuh (Devi, 2021). Komposisi urin dapat mencerminkan kemampuan ginjal dalam mempertahankan dan menyerap material penting untuk homeostasis tubuh dan metabolisme dasar (Faizin, 2020).

Urin merupakan larutan yang terdiri dari air dan zat-zat terlarut yang merupakan hasil dari proses metabolisme seperti urea, materi organik dan garam terlarut. Komponen-komponen ini berasal dari darah atau cairan interstisial. Komposisi urin mengalami perubahan ketika molekul-molekul yang penting bagi tubuh diserap kembali. Sisa cairan yang tersisa dalam urin mengandung urea yang tinggi serta berbagai senyawa yang berlebihan atau berpotensi beracun dari tubuh (Sitti, 2021).

2. Proses Pembentukan Urin



Gambar 5. Proses Pembentukan urin
(Sumber: Sri Rohaya, 2018)

Urin terbentuk di dalam melalui proses penyaringan darah dan pengambilan bahan-bahan yang masih dibutuhkan oleh tubuh. Nefron bertugas membersihkan plasma dari zat yang tidak dibutuhkan seperti

asam urat, urea, kreatinin, ion natrium, kalium dan hidrogen yang cenderung mnumpuk dalam jumlah berlebihan dan perlu dikeluarkan oleh ginjal (Devi, 2021).

Urin mengandung zat-zat yang tidak dibutuhkan oleh tubuh dan perlu dikeluarkan karena dapat memiliki efek toksik bagi tubuh. Pembentukan urin melibatkan dari tiga proses yaitu *filtrasi* (penyaringan), *reabsorpsi* (penyerapan kembali) dan *augmentasi* (pengumpulan/sekresi) (Astuti, 2017).

a. *Filtrasi*

Proses *filtrasi* terjadi di glomerulus, terjadi karena permukaan *aferen* yang lebih besar dari permukaan eferen sehingga darah diserap. Sekitar 25% dari total darah dipompa oleh ventrikel kiri pada setiap siklus jantung mengalir keginjal melalui glomerulus. Sebagian besar cairan darah kecuali protein karena protein memiliki ukuran molekul yang lebih besar sehingga tidak dapat tersaring oleh glomerulus. Proses penyaringan ini terjadi dengan mudah karena tekanan yang tinggi didekat arteri renalis dan cabangnya, yang terletak didekat aorta dan pipa didalam *arteriola aferens* lebih besar dari pipa didalam *arteriola eferens*. Selain itu, kapiler darah yang membentuk glomerulus memiliki banyak pori-pori. Cairan yang tersaring kemudian ditampung oleh simpai bowman yang terdiri dari glukosa, air, natrium, klorida, sulfat, bikarbonat dan lain-lain. Cairan inilah yang kemudian mengalir ke tubulus ginjal (Chika, 2021).

b. *Reabsorpsi*

Cairan yang telah *difiltrasi (filtrate glomerulus)* kemudian mengalir ketubulus renalis. Zat-zat seperti natrium klorida, glukosa, fosfat dan ion bikarbonat yang diperlukan oleh tubuh akan diserap kembali, sehingga yang tersisa adalah zat-zat yang tidak diperlukan oleh tubuh (Ode, 2016). Proses ini secara pasif disebut dengan *obligator reabsorpsi* terjadi pada tubulus atas. Dibagian tubulus ginjal bagian bawah terjadi kembali penyerapan ion bikarbonat dan natrium.

Jika diperlukan, zat-zat ini akan diserap kembali ke dalam tubulus bagian bawah. Proses ini secara aktif dikenal sebagai *23 reabsorpsi fakultatif* dan sisanya dialirkan pada papilla renalis. Hormon yang berperan dalam proses reabsorpsi adalah anti *diuretic hormon* (Chika, 2021).

c. Sekresi

Sisa urin yang tersisa kemudian diserap kembali di tubulus dan mengalir ke kandung kemih melalui ureter. Proses *Augmentasi* atau sekresi terjadi ketika zat-zat sisa dan urea yang mulai muncul di tubulus kontortus distal. Urin yang terbentuk dari tubulus distal kemudian mengalir ke arah duktus kolektivus. Selanjutnya urin mengalir ke pelvis ginjal. Urin mengalir dari ginjal dan pelvis ginjal melalui ureter dan masuk ke kandung kemih yang memberikan sensasi rasa ingin buang air kecil. Kemudian urin dikeluarkan melalui uretra (Devi, 2021).

G. Tinjauan Umum Tentang Metode Pemeriksaan Cromium (Cr)

Pemeriksaan kadar cromium (Cr) dapat dilakukan dengan dua metode yaitu pemeriksaan cromium (Cr) dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) dan pemeriksaan kadar cromium (Cr) dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis (Sitti, 2021).

1. Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

a. Definisi Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

Spektroskopi merujuk pada disiplin ilmiah yang mengeksplorasi interaksi antara radiasi elektromagnetik dan materi. Dalam konteks analisis kimia, Spektrofotometer Serapan Atom digunakan sebagai alat untuk menentukan keberadaan elemen logam dan metalloid berdasarkan pada penyerapan cahaya oleh atom (Nurul, 2021). Spektrofotometer Serapan Atom berperan penting dalam metode analisis untuk identifikasi elemen logam yang berdasarkan pada penyerapan *absorpsi* radiasi oleh atom-atom bebas unsur tersebut.

Teknik ini merupakan bagian dari analisis kimia, khususnya analisis kuantitatif (Nurmadhani, 2020).



Gambar 6. SSA Shimadzu AA-7000
(Sumber:Dokumentasi Pribadi, 2024)

Atom bebas dalam Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) berinteraksi dengan berbagai bentuk energi, seperti energi termal, energi elektromagnetik, energi kimia dan energi listrik. Interaksi ini menghasilkan proses dalam atom bebas yang menyebabkan penyerapan dan emisi radiasi dan panas. Radiasi yang dipancarkan memiliki sifat khas karena memiliki panjang gelombang yang khas untuk setiap atom bebas. Penyerapan atau emisi radiasi elektronik melibatkan perpindahan elektron dalam atom dari tingkat energi yang satu ketingkat energi lainnya (Suhartati, 2017).

b. Instrumentasi Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)

1) Sumber radiasi resonansi

Sumber radiasi resonansi yang sering digunakan adalah lampu katoda berongga (*Hollow Cathode Lamp*) atau *Electrodeless Discharge Tube* (EDT). Lampu katoda berongga memancarkan energi radiasi yang sesuai dengan energi yang dibutuhkan untuk transisi elektron atom (Darmayani, 2020). Pada umumnya, elektroda pada lampu katoda berongga terbuat dari

wolfarm dan katoda berongga dilapisi dengan unsur murni atau campuran unsur murni yang diinginkan.

Pemancaran radiasi resonansi terjadi ketika kedua elektroda diberi tegangan, arus listrik yang terjadi mengakibatkan ionisasi gas-gas pengisi. Ion-ion gas yang memiliki muatan positif ini berinteraksi dengan atom-atom yang terdapat pada katoda menyebabkan atom-atom tersebut tereksitasi. Atom-atom yang tereksitasi ini tidak stabil dan akan kembali pada tingkat dasar dengan melepaskan energi eksitasi dalam bentuk radiasi. Radiasi ini yang dilewatkan melalui atom-atom yang ada dalam nyala (Suhartati, 2017).

2) Tabung gas

Tabung gas yang digunakan pada sistem Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) berfungsi untuk menyimpan gas pembakar yang merupakan gas oksidator (oksidan) (Suhartati, 2017). Pada SSA gas asetilen memiliki kisaran suhu $\pm 20000\text{K}$ sementara terdapat juga tabung gas yang berisi gas N_2O yang memiliki suhu lebih tinggi dari gas asetilen yaitu sekitar $\pm 30000\text{K}$. Regulator pada tabung ini berperan dalam mengatur laju aliran gas pembawa yang akan dikeluarkan dari dalam tabung (Iqbal, 2019).

Menurut Nasir (2020) ada beberapa jenis gas pembakar yang sering digunakan pada SSA dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Jenis-jenis Gas pembakar Pada SSA

Gas Pembakar	Gas Oksidan	Temperatur ($^{\circ}\text{K}$)
Asitilen	Udara	2400-2700
Asitilen	Dinitrogen oksida	2900-3100
Asitilen	Oksigen	3300-3400
Hidrogen	Udara	2300-2400
Hidrogen	Oksigen	2800-3000

3) *Atomizer*

Atomizer terdiri dari *nebulizer* (sistem pengabut), *spray chamber*, dan *burner* (sistem pembakar). *Nebulizer* berperan dalam mengubah larutan menjadi aerosol atau partikel kabut dengan ukuran partikel 15-20 μm) dengan cara menarik larutan melalui kapiler melalui pengaruh aliran udara serta menghisap gas bahan bakar dan oksidator sebelum disemprotkan ke ruang pengabut. *Partikel Spray chamber* yang dihasilkan kemudian bercampur dengan campuran gas oksidator, bahan bakar dan aerosol yang mengandung contoh sebelum memasuki burmer. Partikel kabut yang halus bersama aliran campuran gas bahan bakar masuk kedalam nyala, sedangkan partikel kabut yang besar akan dialirkan melalui saluran pembuangan (Sukirno, 2018).

Burner merupakan sistem tempat terjadi atomisasi yaitu mengubah kabut atau uap garam unsur yang akan dianalisa menjadi atom-atom normal dalam nyala (Nasir, 2020).

4) *Monokromator*

Setelah radiasi resonansi dari lampu katoda berongga melalui atom-atom didalam nyala, sebagian energi radiasi ini diserap dan sebagian lagi diteruskan. Bagian radiasi yang diteruskan dipisahkan dari radiasi lainnya. Pemisahan radiasi tersebut dilakukan oleh monokromator (Suhartati, 2017).

Monokromator digunakan untuk memisahkan garis yang tidak diserap yang dipancarkan oleh sumber radiasi. Pada sebagian instrument komersial, kisi difraksi digunakan karena arah yang dilakukan oleh kisi lebih seragam daripada yang dilakukan prisma dan akhirnya instrument kisi dapat mempertahankan resolusi yang lebih tinggi sepanjang gelombang yang lebih luas dalam jangka waktu yang lebih lama (Darmayani, 2020).

Monokromator terdiri dari sistem optik juga terdapat *chopper* yang berfungsi untuk memisahkan radiasi resonansi dan kontinyu

(Nurmadhani, 2020). Dalam kebanyakan instrument komersial, kisi difraksi digunakan karena sebaran yang dilakukan oleh kisi lebih seragam dari pada yang dilakukan prisma, sehingga instrument kisi dapat mempertahankan resolusi yang lebih tinggi (Nasir, 2020).

5) *Detector*

Detector digunakan untuk mengukur intensitas cahaya yang melewati tempat pengatomisasi. Salah satu jenis *detector* yang umum digunakan adalah tabung penggadaan foton atau *photomultiplier tube* (Nurmadhani, 2020). Fungsi *detector* adalah untuk mengukur intensitas radiasi yang ditransmisikan oleh sampel dan mengubahnya menjadi energi listrik Nasir (2020).

6) *Amplifier*

Amplifier berfungsi untuk meningkatkan kekuatan sinyal yang diterima dari *detector* sebelum direkam (*recorder*) oleh alat perekam (Darmayani, 2020).

7) *Recorder*

Recorder pada SSA memiliki fungsi untuk mengkonversi sinyal yang diterima menjadi bentuk digital, yang dinyatakan dalam satuan absorbansi. Isyarat listrik dari *detector* akan diubah oleh *recorder* dalam bentuk nilai bacaan serapan atom (Suhartati, 2017). Hasil pembacaan tersebut dapat berupa angka atau kurva pada *recorder* yang menggambarkan absorbansi atau instensitas emisi (Novita, 2018).

c. Prinsip Kerja Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)

Prinsip dasar Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) adalah interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan sampel. Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) merupakan metode yang sangat tepat menganalisis zat dalam konsentrasi yang rendah (Darmayani, 2020).

Menurut Handayani dkk (2020), metode SSA memiliki prinsip pada absorbansi cahaya oleh atom. Atom-atom menyerap cahaya pada

panjang gelombang tertentu, tergantung pada sifat unsur. Cahaya dengan panjang gelombang ini memiliki energi yang cukup untuk mengubah tingkat elektronik dalam atom. Transisi elektronik dalam unsur bersifat spesifik dengan tingkat eksistensi yang bermacam-macam.

Nurmadhani (2020) menjelaskan bahwa prinsip kerja dari SSA adalah sampel yang berbentuk cair diubah menjadi bentuk aerosol dan dicampur dengan gas sebelum masuk ke dalam jalur cahaya. Zat yang dianalisis dikonversi menjadi atom-atom dalam keadaan dasar. Cahaya dari lampu katoda kemudian melewati atom dalam nyala api, menyebabkan elektron pada kulit terluar dari atom mengalami transisi ke tingkat energy yang lebih tinggi. Penyerapan cahaya ini berhubungan dengan jumlah atom dalam keadaan dasar yang berada dalam nyala api. Cahaya yang diserap oleh atom kemudian diteruskan dan diarahkan ke *detector* kemudian diubah menjadi sinyal yang dapat diukur.

Jumlah kadar logam berat cromium (Cr) pada urin dilakukan dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) pada panjang gelombang 359,3 nm (Handayani, 2020).

Darmayani (2020) Hubungan antara absorbansi dengan konsentrasi diturunkan dari dua hukum yaitu hukum Lambert dan hukum Beer.

a. Hukum Lambert

Intensitas sinar yang melewati medium transparan berkurang dengan bertambahnya ketebalan medium tersebut yang berfungsi sebagai penyerapan cahaya.

b. Hukum Beer

Penurunan intensitas sinar yang diteruskan mengikuti pola eksponensial terkait dengan konsentrasi zat penyerap didalam medium.

d. Kelebihan dan kelemahan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

Yulistika (2023) menyatakan ada beberapa kelebihan dan kelemahan dari metode Spektrofotometer Serapan Atom (SSA), yakni:

- 1) Kelebihan metode Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)
 - a) Keunggulan dari teknik ini adalah selektivitasnya yang tinggi, yang memungkinkan pengukuran unsur-unsur dalam larutan sampel dilakukan secara bersamaan tanpa memerlukan tahapan pemisahan.
 - b) Metode ini memiliki kemampuan sensitivitas yang tinggi dan batas deteksi yang rendah, memungkinkan pengukuran kadar logam berat pada konsentrasi yang sangat rendah.
 - c) Batas pengukuran dari metode ini sangat luas, dengan kemampuan untuk menentukan kadar dalam rentang dari milligram per liter (mg/L) hingga persentase (%).
 - d) Metode ini menunjukkan ketepatan yang memadai, dengan kemampuan untuk memperoleh hasil yang akurat sebagai dasar dalam penyusunan kurva kalibrasi.
 - e) Pengukuran absorbansi dapat dibaca secara langsung dari alat pengukur tanpa memerlukan langkah-langkah interpretasi lebih lanjut.
 - f) Memiliki nilai ekonomis yang cukup dengan sistem yang relatif mudah.
- 2) Kelemahan metode Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)
 - a) Perbedaan matriks antara sampel dan standar seringkali menjadi sumber kesalahan matriks dalam metode analisis
 - b) Biasanya terdapat penyumbatan pada jalannya aliran sampel atau aliran sampel pada burner tidak sama.
 - c) Ditemukan adanya gangguan kimia, gangguan *spectral* dan gangguan fisika.
 - d) Setiap unsur memerlukan lampu katoda berongga yang spesifik sebagai sumber emisi.

2. Spektrofotometer UV-Vis

a. Definisi Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer UV-Vis merupakan metode analisis yang menggunakan panjang gelombang UV dan Visible sebagai area serapan untuk mendeteksi senyawa (Sitti, 2021). Spektrofotometer UV-Vis merupakan metode analisis fisika kimia yang menggunakan sumber radiasi gelombang elektromagnetik ultraviolet (UV) pada panjang gelombang 190-380 nm dan cahaya tampak (*visible*) pada panjang gelombang 380-780 nm dengan menggunakan instrument spektrofotometer (Ahriani, 2021).



Gambar 7. Spektrofotometer UV-Vis
(Sumber : Sita Yusnia, 2022)

Spektrofotometer UV-Vis dapat digunakan untuk menentukan sampel berupa larutan, gas dan uap. Pada umumnya sampel harus diubah dalam bentuk larutan yang jernih (Suhartati, 2017).

b. Instrumen Spektrofotometer UV-Vis

Ahriani (2021) adapun komponen Spektrofotometer UV-Vis, Yaitu:

1) Sumber radiasi

Sumber radiasi berfungsi memberikan energi radiasi pada daerah panjang gelombang yang tepat dalam pengukuran dan menjaga intensitas cahaya yang konstan dalam pengukuran. Lampu

hidrogen dan lampu filamen adalah sumber radiasi dalam spektrofotometer UV-Vis.

2) Monokromator

Monokromator berfungsi dalam menghasilkan radiasi monokromatis yang diperoleh dari kuvet yang berisi sampel dan blanko yang diteruskan secara bersamaan melaju putaran cermin.

3) Kuvet

Kuvet berfungsi tempat yang akan diukur absorbansinya. Syaratnya adalah harus terbuat dari bahan anti radiasi pada daerah yang digunakan, biasanya kuvet terbuat dari kaca maupun plastik yang tembus sinar.

4) Fotosel

Fotosel berfungsi untuk menangkap cahaya yang diteruskan dari sampel kemudian diubah menjadi energi listrik yang selanjutnya akan disampaikan ke *detector*.

5) Detector

Detector merupakan material yang mampu menyerap energi dari foton dan mengkonversinya dalam bentuk yang lain.

6) Display (tampilan)

Display memiliki fungsi dalam mengubah sinyal listrik dari detector menjadi pembacaan berupa angka atau meter sesuai hasil yang dianalisis.

c. Prinsip Spektrofotometer UV-Vis

Prinsip kerja Spektrofotometer UV-Vis berdasarkan pada serapan cahaya, dimana atom dan molekul berinteraksi dengan cahaya. Ketika radiasi elektromagnetik dalam daerah UV-Vis melewati suatu senyawa yang mengandung ikatan-ikatan rangkap, sebagian dari radiasi biasanya diabsorpsi oleh senyawa (Sitti, 2021).

d. Kelebihan dan kelemahan Spektrofotometer UV-Vis

1) Kelebihan Spektrofotometer UV-Vis

Ahriani (2021), ada beberapa kelebihan dari metode Spektrofotometer UV-Vis, yakni:

- a) Sensitivitas yang tinggi
- b) Selektivitas yang baik karena dapat menyesuaikan panjang gelombang dengan kondisi yang tepat.
- c) Dapat digunakan pada zat organik maupun anorganik.
- d) Memiliki ketelitian yang tinggi

2) Kelemahan Spektrofotometer UV-Vis

Yulistika (2023) menyatakan ada beberapa kelemahan dari metode Spektrofotometer UV-Vis, yakni:

- a) Hanya dapat digunakan pada daerah ultraviolet dengan panjang gelombang lebih dari 185 nm.
- b) Sinar yang digunakan harus monokromatis
- c) Absorbansi dipengaruhi oleh suhu, pH larutan dan kandungan zat pengganggu serta kebersihan dari kuvet.
- d) Penggunaan hanya pada gugus fungsional yang mengandung elektrovalensi dengan energi eksitasi rendah.