

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sayuran

2.1.1. Sayuran

Sayuran adalah bagian tanaman yang sering dimakan orang untuk mendapatkan nutrisinya. Mengonsumsi sayuran setiap hari sangat penting untuk menjaga kesehatan karena, selain tinggi serat, sayuran juga merupakan sumber nutrisi yang baik termasuk vitamin dan mineral. “Sayuran memiliki banyak manfaat, termasuk memperkuat sistem kekebalan tubuh, menjaga kesehatan jantung, menurunkan risiko penyakit kronis, meningkatkan kesehatan kulit, dan membantu menjaga berat badan (Nurhanisah, 2021).

Selain tinggi kalsium, magnesium, potasium, dan zat besi, sayuran berdaun merah hijau dan ungu juga merupakan sumber vitamin B kompleks, vitamin C, vitamin A, dan vitamin K. Selain itu, banyak serat larut dan tidak larut. dapat ditemukan dalam sayuran. Beberapa mikronutrien penting untuk anak, seperti vitamin A, zat besi, dan yodium, terdapat dalam sayuran ini. Selain itu, seng dan vitamin C adalah mikronutrien penting yang mendorong pertumbuhan dan perkembangan anak-anak dan membantu memperkuat sistem kekebalan tubuh terhadap penyakit (Siregar, 2023).

WHO menyarankan untuk mengonsumsi hingga 400g buah dan sayuran per orang setiap hari untuk menjaga kesehatan. Rinciannya terdiri dari 150g buah dan 250g sayuran, yang setara dengan dua porsi atau dua gelas sayuran olahan, dimasak, dan dikeringkan. Disarankan agar orang Indonesia, terutama balita dan anak usia sekolah, makan 300-400g buah dan sayuran setiap hari. Namun, disarankan agar orang dewasa dan remaja mengonsumsi 400-600g setiap hari per orang. sekitar dua pertiga dari seluruh jumlah yang disarankan.

2.1.2. Jenis Sayuran Berdasarkan Tempat Tumbuhnya

a. Sayuran Dataran Rendah

Sayuran disebut dataran rendah jika ditanam pada ketinggian 0-600m diatas permukaan laut (dpl). Beberapa jenis sayuran yang cocok untuk ditanam didaerah ini yaitu, kangkung, bayam, kacang Panjang, dan kecipir.

b. Sayuran Dataran Tinggi

Sayuran yang dikenal sebagai sayuran dataran tinggi tumbuh subur di ketinggian > 600 mdpl. Wortel, buncis, kacang polong, kentang, kol (kol), dan selada adalah beberapa contoh sayuran ini.

c. Sayuran Dataran Rendah dan Tinggi

Terdapat juga sayuran yang bisa bertumbuh di kedua ketinggian, baik dataran rendah maupun tinggi. Meskipun satu jenis tanaman, terdapat varietas yang khusus pada ketinggian. Contohnya, bayam, tomat, kol, kangkung, cabai, bawang bakung, pare, selada, sawi, terung, dan kol memiliki varietas yang sesuai untuk ditanam dikedua area tersebut.

2.1.3. Jenis Sayuran Hijau

A. Kangkung (*Ipomoea sp.*)

Tumbuh di tanaman merambat, kangkung adalah tanaman sayuran komersial. Batang tanamannya kecil, lonjong, dan berlubang di bagian dalam. Karena rasanya yang enak dan segar, masyarakat Indonesia sangat menyukainya. Kangkung juga kaya akan mineral, termasuk zat besi, dan vitamin A dan C. Kangkung udara (*Ipomoea Aquatica*) dan kangkung darat (*Ipomoea reptans L.*) adalah dua jenis kangkung yang terkenal dan enak. Mekar putih dan daun berwarna hijau keputihan, panjang, runcing merupakan ciri khas kangkung darat. Sebaliknya, kangkung air juga memiliki daun yang panjang, tetapi ujungnya berwarna hijau semakin gelap, dan bunganya berwarna gelap (Nuradi, 2021).

Sayur kangkung, bisa dilihat pada gambar 2.1 memiliki berbagai manfaat bagi kesehatan tubuh. Kangkung diketahui mengandung sejumlah vitamin (A, B, C dan K), natrium, kalium, zat besi, asam folat, dan lainnya. Mengonsumsi kangkung juga dapat membantu menjaga kesahatan mata, menurunkan berat badan, mencegah diabetes, dan lain sebagainya (Syarifudin *et al.*, 2022).



Gambar 2.1 Kangkung
(Sumber: Dokumen Peneliti, 2025)

1. Ciri – Ciri Kangkung

Menurut (Lisda Ariyanti *et al.*, 2022) Kangkung mempunyai ciri-ciri sebagai berikut:

- a. Batang: Panjangnya bisa mencapai 2-3meter atau lebih. Struktur batangnya berongga sehingga ringan dan bisa mengapung di udara.
- b. Daun: Bentuk daunnya menyerupai mata panah, dengan panjang sekitar 5-15 cm dan lebar 2-8 cm. Namun, ada juga variasi bentuk daun. Kangkung udara memiliki daun yang licin berbentuk mata panah dengan ukuran 10-15 cm, sedangkan kangkung darat memiliki daun yang lebih pendek dan memanjang dengan warna hijau yang lebih tua.
- c. Akar: Sistem perakarannya berupa akar serabut.
- d. Bunga: Bentuk bunganya menyerupai terompet, berdiameter antara 3-5 cm, dan umumnya berwarna putih dengan sedikit ungu muda di bagian tengahnya. Kangkung darat biasanya memiliki bunga berwarna putih, sedangkan kangkung udara memiliki bunga dengan warna putih kemerah-merahan.

2. Klasifikasi Kangkung (*Ipomoea aquatica*)

Menurut (Adrian dalam (Putri *et al.*, 2024) klasifikasi kangkung yaitu,

Kingdom : *Plantae*
Sub Kingdom : *Tracheobionta*
Super divisi : *Spermatophyta*

Divisi	: <i>Magnoliophyta</i>
Kelas	: <i>magnoliopsida</i>
Sub kelas	: <i>Asteridae</i>
Ordo	: <i>Solanales</i>
Famili	: <i>Convolvulaceae</i>
Genus	: <i>Ipomoea</i>
Spesies	: <i>Ipomoea aquatica Forsk</i>

B. Bayam Hijau (*Amaranthus tricolor L.*)

Salah satu varietas sayuran daun utama di daerah tropis, khususnya di Indonesia, adalah bayam (*Amaranthus sp. L.*), yang merupakan anggota famili Amaranthaceae, menurut Sunarjono. Bayam hijau sebagai sayuran hijau dan kaya akan vitamin serta mineral adalah jenis bayam yang umum dikonsumsi oleh masyarakat, dan sering disebut sebagai bayam cabut (*Amaranthus tricolor L.*). Banyak orang menyukai daunnya yang lembut dan kecil (Ibrahim *et al.*, 2021).



Gambar 2.2 Bayam
(Sumber: Dokumen Peneliti, 2025)

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2, bayam hijau menawarkan beberapa manfaat kesehatan karena kandungan kalsium, beta-karoten, serat, dan vitamin A, C, dan E yang tinggi. Selain itu, bayam memiliki jumlah zat besi yang cukup, yang membantu menghindari anemia. Bayam mempunyai kandungan mineral yang tinggi, terutama zat besi, dan vitamin B, terutama asam folat (Sari *et al.*, 2021).

1. Ciri-ciri Bayam

Bayam hijau adalah tanaman semusim atau tahunan berjenis terma, berikut ciri-ciri bayam hijau.

- a. Bayam memiliki akar tunggang dengan akar samping yang kuat dan agak dalam. Bayam memiliki sistem perakaran yang menyebar pada kedalaman 20-40cm
- b. Batang bayam berdaging, berair, berwarna hijau, tumbuh tegak diatas permukaan tanah, serta mengandung serat dan mineral.
- c. Bayam hijau berdaun tunggal yang berbentuk bulat telur dengan ujung meruncing, urat daun terlihat jelas. Daun bayam juga bertekstur lembut dan lebar, dan daun bayam berwarna hijau muda hingga tua.
- d. Biji bayam hijau berukuran sangat kecil, berbentuk bulat, berwarna coklat tua mengkilap hingga hitam.
- e. Bunga bayam muncul di ujung tanaman atau ketiak daun tersusun seperti malai yang tumbuh tegak.
- f. Bayam hijau melakukan perkawinan uniseksual, bisa menyerbuk sendiri atau silang dengan bantuan angin dan serangga serta bisa berbunga sepanjang musim (Ardiansyah, 2022).

2. Klasifikasi Bayam Hijau

Berdasarkan Almukarramah dkk (2020), klasifikasi sistematis tanaman bayam adalah sebagai yaitu,

Divisi : *Spermatophyta*
Kelas : *Angiospermae*
Subkelas : *Dicotyledoneae*
Ordo : *Amaranthales*
Famili : *Amaranthaceae*,
Genus : *Bayam*
Spesies : *Amaranthus sp*

C. Sawi Hijau (*Brassica rapa var. parachinensis L.*)

Sawi (*Brassica rapa var. parachinensis L.*) adalah jenis sayuran dari keluarga kubis-kubisan (*Brassicaceae*) yang berasal dari Tiongkok. Sayuran ini diperkenalkan ke Indonesia pada abad ke-17 dan telah menjadi populer serta

diminati oleh masyarakat. Sawi mengandung berbagai zat gizi, termasuk protein, lemak, karbohidrat, serta mineral seperti kalsium (Ca), fosfor (P), dan besi (Fe), serta vitamin A, B, dan C. Sayuran ini populer di berbagai masakan Asia, seperti tumisan, sup, dan salad (Syaifuddin *et al.*, 2022).



Gambar 2.3 Sawi Hijau
(Sumber: Dokumen Peneliti, 2025)

Mengonsumsi sawi hijau, bisa dilihat pada gambar 2.3 dapat membantu memperkuat tulang, meningkatkan daya tahan tubuh, dan mendukung kesehatan jantung dan mengurangi kolesterol. Selain itu, sawi hijau bermanfaat untuk kesehatan mata berkat kandungan beta-karoten dan lutein, serta mendukung pencernaan karena seratnya. Kandungan antioksidan dalam sawi hijau juga efektif dalam melawan radikal bebas, mengurangi risiko kanker, dan menjaga kulit tetap sehat dan bercahaya. Oleh karena itu, menambahkan sawi hijau ke dalam menu harian merupakan pilihan yang tepat untuk meningkatkan kesehatan (Ramadayanti *et al.*, 2023).

1. Ciri-Ciri Sawi

Menurut (Elinda¹ & Heriansyah², 2022) ciri-ciri sawi hijau yaitu :

- a. Sawi hijau mempunyai daun yang lebar, berwarna hijau, berbentuk elips seperti bulat telur. Daunnya lembut dan tidak berbulu.
- b. Batang, sawi mempunyai batang yang pendek hingga hampir tidak terlihat, batang sawi hijau berfungsi sebagai organ pembentuk dan menopang daun

- c. Akar, Sawi hijau memiliki akar tunggang dengan cabang-cabang akar yang menyebar ke semua arah dengan kedalaman 30-50 cm.
- d. Sawi mempunyai bunga, lengkap tersusun majemuk, kelopak dan mahkota berisi empat helai, biasanya berwarna kuning cerah
- e. Buah sawi memanjang, kering saat matang, mirip polong (siliqua)
- f. Biji sawi kecil, berwarna coklat gelap sampai hitam

2. Klasifikasi Sawi Hijau

Menurut (Syarifuddin *et al.*, 2022) klasifikasi dalam tata nama (sistem tumbuhan) tanaman sawi termasuk kedalam:

Divisi	: <i>Spermatophyta</i>
Sub divisi	: <i>Angiospermae</i>
Kelas	: <i>Dicotyledoneae</i>
Ordo	: <i>Rhoeadales</i>
Famili	: <i>Cruciferae</i>
Genus	: <i>Brassica</i> .
Spesies	: <i>Brassica rapa var. parachinensis L</i>

D. Daun Singkong (*Manihot esculenta Crantz*)

Ubi kayu, atau singkong (*Manihot esculenta Crantz*), yang akrab disebut ketela pohon, adalah tanaman yang sudah lama dikenal dan dikonsumsi oleh masyarakat Indonesia. Singkong asalnya dari Brazil dan Amerika Selatan, serta diperkenalkan ke Asia abad ke-17. Nigeria adalah negara dengan produksi terbesar didunia, meskipun hanya sebagian kecil dari hasil yang diekspor keseluruh dunia (Yudha *et al.*, 2023).

Daun singkong adalah sayuran hijau yang dikenal sebagai sumber zat besi. Dalam 100gram daun singkong terdapat sekitar 2,0gram zat besi. Sejak lama, daun singkong telah dikenal oleh masyarakat sebagai sayuran. Bagi mereka yang sudah terbiasa mengonsumsinya, daun singkong dianggap sebagai sayuran yang unik dan dapat meningkatkan selera makan. Dengan tekstur yang kasar, daun singkong lebih cocok dimasak dengan cara tertentu saja (Br Ginting *et al.*, 2023).



Gambar 2.4 Daun Singkong
(Sumber: Dokumen Penelilti, 2025)

Daun singkong bisa dilihat pada gambar 2.4 menawarkan berbagai manfaat bagi kesehatan tubuh. Dengan kandungan zat besi yang tinggi, daun ini dapat membantu mencegah anemia dengan cara meningkatkan kadar hemoglobin dalam darah. Selain itu, daun singkong juga mengandung vitamin A, C, dan serat, yang bermanfaat untuk menjaga kesehatan mata, memperkuat sistem imun (Syafitri, 2022).

1. Ciri-Ciri Daun Singkong

Daun singkong memiliki ciri-ciri khusus yang meliputi bentuk, tulang daun, dan warna (Hutabarat *et al.*, 2021).

- a. Bentuk Daun, Helaian daun menyerupai telapak tangan. biasanya, setiap tangkai memiliki antara 5 hingga 8 lembar daun. Pada daun singkong yang renek, ujungnya runcing dengan 5-7 helai pada setiap tangkai.
- b. Tulang Daun, Daun singkong memiliki struktur tulang daun yang berbentuk menjari, atau dikenal sebagai "daun majemuk menjari" di mana setiap tangkai memiliki beberapa cabang. Dari cabang-cabangnya, terlihat bahwa tulang daun ini memiliki bentuk menyirip.
- c. Warna Daun, daun singkong berwarna hijau pucuk dan tangkai daun singkong juga memiliki warna. Pada umumnya tangkai daun berwarna putih atau merah.
- d. Tangkai daun singkong biasanya memiliki warna Panjang 5-30cm dan tepi daun singkong datar.

2. Klasifikasi Daun singkong

Berdasarkan klasifikasi tanaman singkong adalah sebagai berikut:

Kingdom	: <i>Plantae</i>
Devisio	: <i>Spermatophyta</i>
Sub divisio	: <i>Angiospermae</i>
Class	: <i>Dicotyledonae</i>
Ordo	: <i>Euphorbiales</i>
Family	: <i>Euphorbiaceae</i>
Genus	: <i>Manihot</i>
Species	: <i>Manihot utilisima</i>

E. Pakcoy (*Brassica rapa subsp. Chinensis*)

Pakcoy adalah sayuran yang termasuk dalam keluarga Brassicaceae. Sayuran ini umumnya dikonsumsi sebagai lalapan, campuran berbagai masakan, atau dalam bentuk asinan. Dengan kandungan gizi yang tinggi, pakcoy sangat baik untuk mendukung gaya hidup sehat. Menurut data USDA (2019), dalam 100 g pakcoy terdapat 95,32 g udara, 1 gram serat, 13 kkal energi, 1,5 g protein, 105 mg kalsium, 27 mg fosfor, 252 mg kalium, 4468 IU vitamin A, 45 mg vitamin C, dan 66 µg folat (Moghtaderi *et al.*, 2020).

Sayur pakcoy bisa dilihat pada gambar 2.5 memiliki banyak manfaat untuk kesehatan, antara lain kaya akan nutrisi seperti vitamin A, C, K, serta kalsium dan zat besi yang penting bagi tubuh. Kandungan kalsium dan vitamin K dalam pakcoy membantu menjaga kesehatan tulang dan mencegah osteoporosis, sementara vitamin C memperkuat sistem imun dan melindungi dari infeksi. Selain itu, serat yang terdapat dalam pakcoy mendukung pencernaan dan mencegah sembelit. Antioksidan dalam pakcoy juga berperan dalam menurunkan risiko penyakit jantung dengan membantu menurunkan kadar Kolesterol (Moghtaderi *et al.*, 2020).

1. Ciri-Ciri Pakcoy

Pakcoy, atau sawi sendok, adalah sayuran populer dengan daun hijau tua mengkilap berbentuk oval atau lonjong. Daunnya lebih tebal dan kaku dibandingkan sawi lainnya. Batangnya berwarna putih atau krem, tebal, renyah, dan relatif pendek. Tanaman ini berukuran kecil hingga sedang (15-30 cm) dan

membentuk roset. Akarnya serabut yang kuat. Saat berbunga, pakcoy menghasilkan bunga kuning kecil yang tersusun dalam tandan (Amini *et al.*, 2021).



Gambar 2.5 Pakcoy
(Sumber: Dokumentasi Peneliti, 2025)

2. Klasifikasi Pakcoy

Menurut Rahman Secara biologi, pakcoy green (sawi sendok) memiliki klasifikasi taksonomi yaitu:

Kingdom : *Plantae*,
Divisi : *Spermatophyta*
Kelas : *Dicotyledonae*
Ordo : *Rhoeadales*
Famili : *Brassicaceae*
Genus : *Brassica*
Spesies : *Brassica rapa L.*

F. Genjer (*Limnocharis flava*)

Genjer (*Limnocharis flava*), yang dikenal juga dengan sebutan yellow Velvetleaf atau sawah-lettuce, adalah tanaman liar yang dapat ditemukan di daerah persawahan, sungai, atau rawa. Banyak orang yang menganggap genjer sebagai gulma karena sifatnya yang tumbuh liar, yang dapat sangat mengganggu jika muncul di lahan persawahan. Tanaman genjer juga memiliki kelebihan karena kandungan gizinya yang melimpah, sehingga dapat dianggap sebagai sayuran. Di

Indonesia, genjer banyak dikonsumsi oleh masyarakat sebagai sayuran pendamping dalam makanan sehari-hari (Rahmawati & Sa'diyah, 2020).



Gambar 2.6 Genjer
(Sumber: Dokumentasi Peneliti, 2025)

Genjer bisa dilihat pada gambar 2.6 memiliki gizi tinggi dan kaya serat. Setiap 100 gramnya mengandung 39kkal, karbohidrat, kalsium, fosfor, dan zat besi, serta kardenolin, flavonoida, dan polifenol. Seratnya baik untuk pencernaan, dan kandungan beta karotennya baik untuk mata. Genjer juga membantu menurunkan kolesterol karena mengandung serat, karbohidrat kompleks, flavonoid, dan saponin. Penelitian menunjukkan bahwa genjer mengandung fenolat, bersifat antioksidan, dan anti-lipoksinase. Kandungan protein, lemak, karbohidrat, vitamin A, vitamin B, dan mineral (K, Ca, Mg, Cu) juga memberikan manfaat kesehatan. Daun dan batang genjer dapat diolah menjadi berbagai masakan.

Vitamin B1 yakni salah satu vitamin yang terdapat pada genjer. Vitamin B1 memainkan fungsi vital dalam metabolisme lemak dan karbohidrat, pembangkit energi, dan sintesis neurotransmitter. Tiamin hadir dalam makanan dalam zat kompleks yang dikenal sebagai kompleks protein fosfat (Rahmawati & Sa'diyah, 2020).

1. Ciri- Ciri Genjer

Genjer adalah tumbuhan rawa yang tumbuh di perairan dangkal seperti sawah dan rawa (Zahra, 2022).

- a. Genjer tumbuh di dalam lumpur, dan tidak mengapung seperti eceng gondok

- b. Tangkainya berlubang dan panjang, batangnya tumbuh hingga 75 cm dan berbentuk segitiga.
- c. Tanaman genjer ini bisa mencapai tinggi hingga setengah meter
- d. Daunnya besar, licin, pipih, dan tegak/miring dengan ujung runcing.
- e. Bunganya berwarna kuning berdiameter 1,5 cm dan buahnya bulat berwarna hijau.
- f. Genjer dapat tumbuh dan berbunga sepanjang tahun.

2. Klasifikasi Genjer

Berdasarkan (Rahmawati & Sa'diyah, 2020) klasifikasi Tumbuhan Genjer (*Limnocharis Flava*) adalah sebagai berikut:

Kerajaan	: <i>Plantae</i>
Divisi	: <i>Magnoliophyta</i>
Kelas	: <i>Alismatales</i>
Ordo	: <i>Alismatales</i>
Famili	: <i>Limnocharitaceae</i>
Genus	: <i>Limnocharis</i>
Spesies	: <i>Limnocharis flava</i>

2.2. Logam Berat

2.2.1. Pengertian Logam Berat

Logam berat adalah salah satu jenis bahan kimia atau bahan yang termasuk dalam kategori bahan beracun dan berbahaya (B3). Senyawa beracun ini sering ditemukan pada sampah rumah tangga, emisi kendaraan bermotor, pestisida, dan limbah dari kegiatan penambangan. Unsur-unsur yang memiliki massa jenis lebih dari 5g/cm³ diklasifikasikan sebagai logam berat (Fitriani Pane, 2020). Logam berat adalah zat alami yang ditemukan di tanah yang tidak bisa terurai atau dihilangkan. Makanan, minuman, dan udara semuanya dapat memasukkan zat-zat ini ke dalam tubuh manusia. Organisme hidup membutuhkan tingkat jejak logam berat untuk mengontrol berbagai proses kimia dan fisiologis. Kata ini mengacu pada unsur kimia yang dibutuhkan organisme dan disebut trace element. ada dalam jumlah yang sangat kecil (kurang dari 0,1% dari volume). Tubuh membutuhkan logam berat tertentu, antara lain tembaga (Cu), seng (Zn), besi (Fe), dan selenium (Se).

Namun, jika konsentrasi logam berat terlalu tinggi, mereka dapat menjadi berbahaya atau beracun (Shelemo, 2023).

Menurut Agustina, kelompok elemen mikro terdiri dari logam berat yang tidak memiliki fungsi sama sekali bagi tubuh. Timbal (Pb), merkuri (Hg), arsenik (As), dan kadmium (Cd) adalah beberapa contohnya. Senyawa-senyawa ini sangat berbahaya dan bersifat toksik bagi manusia. Menurut Irhamni, bahwa ada dua kategori logam berat: esensial dan tidak esensial. Makhluk hidup membutuhkan logam berat esensial dalam jumlah tertentu, tetapi terlalu banyak dapat berbahaya. Besi (Fe), seng (Zn), tembaga (Cu), dan mangan (Mn) merupakan contoh logam berat esensial. Sebaliknya, jika logam non-esensial seperti merkuri (Hg), kadmium (Cd), timbal (Pb), dan kromium (Cr) ada di dalam tubuh, logam tersebut mungkin beracun (Pamekas *et al.*, 2023).

Sumber pencemaran logam berat pada tumbuhan yaitu tanah, air, dan udara yang merupakan masalah lingkungan yang serius karena kehadiran logam-logam ini dapat menyebabkan keracunan pada sel-sel kehidupan, termasuk tumbuhan, hewan, dan manusia. Pencemar logam berat tidak dapat terdegradasi baik secara kimia maupun biologi. Oleh karena itu, untuk menghindari efek merugikannya pada proses biologis, pencemaran logam berat di tanah, air, dan udara harus dikurangi atau dihilangkan (Pamekas *et al.*, 2023).

2.3. Timbal (Pb)

2.3.1. Pengertian Timbal

Timbal adalah logam lunak berwarna abu-abu kebiruan yang mengkilap dan mudah dimurnikan dari proses pertambangan. Karena sifat kimia aktifnya, titik leleh yang rendah, dan kesederhanaan pembuatannya, sering digunakan untuk melapisi logam untuk menghentikan korosi. Timbal memiliki berat atom 207,20 dan meleleh pada suhu 328°C (662°F) Titik didihnya adalah 1740°C (3164°F), (Albert Wahyu Kusuma *et al.*, 2022).

Timbal adalah unsur kimia dengan simbol Pb dan nomor atom 82, yang dikenal karena sifat racunnya serta dampaknya terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Biasanya, timbal ditemukan dalam bentuk senyawa, terutama dalam mineral galena, yang merupakan sumber utama timbal. Logam ini memiliki

kepadatan tinggi, sekitar $11,34 \text{ g/cm}^3$, dan dikenal karena kemampuannya menyerap radiasi, sehingga sering digunakan sebagai pelindung dalam bidang medis dan industri. Namun, paparan timbal dapat menyebabkan sejumlah masalah kesehatan, termasuk masalah kardiovaskular pada orang dewasa, kesulitan perkembangan pada anak-anak, dan kerusakan saraf. Pencemaran timbal sering kali disebabkan oleh aktivitas industri, penggunaan bahan kimia pertanian, dan daur ulang baterai asam timbal yang tidak aman. Maka dari itu, upaya untuk mengurangi paparan timbal sangat penting untuk melindungi kesehatan masyarakat dan lingkungan (Nugraha Putra *et al.*, 2022).

Logam timbal merupakan hasil dari pembakaran yang terjadi dalam mesin kendaraan motor berasal dari senyawa tetrametil-Pb dan tetraetil-Pb. Logam timbal yang terdapat pada asap kendaraan bermotor akan tersebar di udara dan akan terhirup oleh masyarakat. Keracunan timbal bisa menimbulkan berbagai macam hal, antara lain memperpendek umur sel darah merah, menurunkan jumlah sel darah merah dan kadar sel-sel darah merah yang masih muda (retikulosit).

Menurut Arkianti, Timbal adalah logam berat yang beracun dan berbahaya, sering kali ditemukan sebagai pencemar yang dapat mengganggu kelangsungan hidup organisme di perairan. Ketika timbal masuk ke dalam ekosistem perairan, ia menjadi sumber pencemaran yang dapat mempengaruhi biota akuatik. Bagi manusia, paparan timbal dapat berhubungan dengan rendahnya berat badan bayi saat lahir. Menurut Harmesa, Sebagian besar timbal di perairan berasal dari kegiatan transportasi, yang di dalamnya terdapat timbal dalam bahan bakar anti pemecah minyak. Akibat kegiatan tersebut, polusi timbal terlepas ke atmosfer melalui emisi dari kendaraan dan kemudian terlarut dalam udara dan laut (Nugraha Putra *et al.*, 2022).

2.3.2. Pencemaran Timbal (Pb)

Timbal yakni salah satu logam berat yang ditemukan secara alami di kerak bumi. Logam ini ditemukan dalam jumlah kecil di alam sebagai hasil dari banyak proses alam. Timbal tidak terurai ketika menumpuk di lingkungan, dan tingkat toksisitasnya tetap konstan. Beberapa sumber logam berat yang dapat mencemari lingkungan antara lain: (Sandeep *et al.*, 2019)

a. Sumber Pertanian

Sumber utama logam berat di tanah pertanian meliputi pengapuran, lumpur limbah, air irigasi, dan pestisida. Meskipun tanah pertanian biasanya memiliki kadar logam berat yang relatif rendah, penggunaan pupuk fosfat dalam jangka panjang dapat menyebabkan penumpukan unsur-unsur tertentu yang sangat berbahaya. Pengapuran cenderung meningkatkan kadar logam berat di tanah lebih signifikan dibandingkan dengan penggunaan pupuk nitrat dan kompos. Selain itu, lumpur limbah dan beberapa jenis pestisida yang mengandung logam berat menjadi salah satu penyebab utama kontaminasi logam berat di tanah.

b. Sumber Industri

Proses pengolahan logam pada suhu tinggi, seperti peleburan dan pengecoran, menghasilkan logam dalam bentuk partikel dan uap. Uap logam berat, seperti As, Cd, Cu, Pb, Sn, dan Zn, dapat bergabung dengan air di atmosfer untuk membentuk aerosol. Partikel aerosol ini dapat disebarkan oleh angin (deposisi kering) atau diendapkan melalui hujan (deposisi basah), yang menyebabkan pencemaran tanah atau sumber air. Selain itu, pencemaran tanah dan sumber air juga dapat terjadi akibat limpasan dari erosi limbah tambang, debu yang dihasilkan selama pengangkutan bijih mentah, korosi logam, dan pelindian logam berat ke dalam tanah dan air tanah. Kontaminasi tanah oleh logam berat terjadi sebagai hasil dari berbagai jenis pemrosesan di kilang. Sumber industri lainnya mencakup pengolahan plastik, tekstil, mikroelektronika, pengawetan kayu, dan pengolahan kertas.

c. Limbah Domestik

Limbah domestik merupakan salah satu penyebab utama peningkatan kadar logam di sungai dan danau. Selain itu, penggunaan deterjen dapat menimbulkan risiko pencemaran, karena produk deterjen yang umum digunakan di rumah tangga dapat berdampak pada kualitas air.

d. Sumber Lainnya

Sumber logam berat lainnya berasal dari pembakaran sampah, tempat pembuangan sampah, serta aktivitas transportasi seperti mobil kendaraan berbahan bakar diesel dan pesawat terbang. Dua penyebab utama pencemaran tanah oleh aktivitas manusia adalah abu dari pembakaran batu bara dan

pelapukan produk limbah industri yang dapat menambah kandungan logam seperti krom (Cr), tembaga (Cu), timbal (Pb), dan seng (Zn) ke lingkungan. Timbal bisa jatuh ke permukaan tanah dan tanaman melalui udara akibat emisi dari kendaraan bermotor, pabrik, dan pembakaran bahan bakar fosil. Partikel timbal di udara ini juga bisa diserap langsung oleh tanaman.

2.3.3. Serapan Timbal (Pb) Oleh Tanaman

Salah satu mekanisme tanaman dalam proses fitoremediasi adalah fitoekstraksi. Dalam proses ini, logam berat diserap melalui akar dan terakumulasi dalam jaringan tanaman. Fitoekstraksi merupakan salah satu cara tumbuhan berpartisipasi dalam proses fitoremediasi. Logam berat diserap melalui akar dan menumpuk di jaringan tanaman selama proses ini. Penularan logam berat ke organisme hidup lain dapat dimediasi oleh tumbuhan. Melalui stomata (mulut daun) atau akar, logam berat dapat masuk ke dalam tanaman. Selain itu, luas permukaan dan tekstur daun yang kasar atau berbulu dapat memengaruhi seberapa banyak timbal yang diserap dari sayuran. Sehingga sayuran yang dikonsumsi oleh manusia maupun hewan, dapat menjadi media perpindahan logam seperti timbal, cadmium, kromium, dan seng ke tubuh makhluk hidup lain (Albert Wahyu Kusuma *et al.*, 2022).

Sebagian besar melalui udara dan air, logam berat mencemari tanah. Logam berat dapat masuk ke akar, batang, daun, dan buah tanaman yang tumbuh di tanah yang tercemar. Jika konsentrasi logam berat dalam jaringan tumbuhan meningkat melebihi tingkat yang dapat diterima, hal itu dapat membahayakan manusia, hewan, dan tumbuhan.

2.3.4. Toksisitas Timbal

Timbal yakni logam yang berbahaya bagi kesehatan manusia. Keracunan akibat senyawa timbal dapat terjadi ketika senyawa tersebut masuk ke dalam tubuh. Timbal dapat masuk ke dalam tubuh melalui sejumlah jalur yang berbeda, termasuk melalui kulit, menghirup udara, dan asupan makanan dan minuman (Rosita *et al.*, 2020).

Toksisitas timbal dapat bersifat baik kronis maupun akut. Paparan kronis terhadap timbal dapat menyebabkan berbagai gejala seperti kelelahan, kelesuan, masalah iritabilitas, gangguan pencernaan, penurunan libido, infertilitas pada pria,

gangguan menstruasi, serta risiko aborsi spontan pada wanita. Selain itu, dapat juga menyebabkan depresi, sakit kepala, kesulitan konsentrasi, gangguan memori, dan masalah tidur. Sementara itu, toksisitas akut dapat menyebabkan masalah pencernaan, seperti kram perut dan kolik, yang biasanya dimulai dengan sembelit, disertai mual, muntah, serta nyeri perut yang parah. Gejala neurologi dapat berupa ensefalopati, yang ditandai dengan sakit kepala, kebingungan atau pikiran yang tidak teratur, serta kemungkinan pingsan dan koma. Selain itu, dapat terjadi gangguan fungsi ginjal, oliguria, dan bahkan gagal ginjal (Putra *et al.*, 2023).

2.3.5. Dampak Timbal Bagi Kesehatan

Paparan timbal dapat mempengaruhi semua organ, dan yang paling dipengaruhi adalah system saraf. Ini berlaku untuk semua kelompok usia, termasuk bayi, anak-anak, dewasa, dan wanita hamil. Toksisitas timbal pada bayi dan anak-anak memiliki dampak yang jauh lebih besar dibandingkan pada orang dewasa, karena jaringan tubuh mereka, baik internal maupun eksternal, lebih lembut. Mereka sangat sensitif terhadap paparan timbal, bahkan dalam konsentrasi rendah, yang dapat menyebabkan masalah perilaku, kesulitan belajar, dan penurunan IQ. Paparan timbal dalam jangka panjang pada orang dewasa dapat mengurangi kinerja kognitif, menyebabkan anemia, dan meningkatkan tekanan darah, terutama pada orang tua. Kerusakan pada otak dan ginjal, baik pada orang dewasa maupun anak-anak, telah ditemukan terkait dengan tingkat timbal yang tinggi, yang dapat berakibat fatal. Pada wanita hamil, paparan timbal yang tinggi dapat menyebabkan keguguran. Selain itu, paparan timbal secara kronis dapat menurunkan kesuburan pada pria (Wani dalam Putra *et al.*, 2023).

2.4. Metode Analisa Timbal

2.4.1. Analisis Kuantitatif dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

Spektrofotometer Serapan Atom adalah alat yang digunakan dalam metode analisis untuk menentukan unsur-unsur logam dan metaloid berdasarkan penyerapan radiasi oleh atom bebas. Teknik ini merupakan metode analisis kuantitatif yang banyak digunakan di berbagai bidang karena prosedurnya yang akurat dan spesifik, biaya analisis yang relatif murah, sensitivitas yang tinggi

(ppm-ppb), kemampuan untuk membuat matriks sesuai standar, serta analisis waktu yang cepat dan mudah dilakukan.

Spektroskopi Serapan Atom adalah metode analisis yang melibatkan atomisasi logam terlebih dahulu dalam bahan kimia untuk menentukan jumlahnya. Nyala api merupakan salah satu cara untuk melakukan proses atomisasi. Dasar dari pendekatan SSA adalah gagasan bahwa atom menyerap cahaya, yang meningkatkan tingkat energi atom keadaan dasar (Solikha, 2019). Dalam Solikha 2019, setiap alat SSA terdiri atas komponen-komponen berikut:

- Sumber radiasi
Untuk menyebabkan proses absorpsi dan eksitasi atom, sumber radiasi memancarkan sinar ke atom netral. Sinar ini sering dihasilkan dengan menggunakan lampu katoda berongga (Hollow Cathode Lamp, HCL) yang menghasilkan energi cahaya dengan panjang gelombang tertentu berdasarkan jenis atom yang diteliti. Satu atau lebih unsur berikut mungkin ada dalam HCL: kalsium (Ca), magnesium (Mg), aluminium (Al), besi (Fe), mangan (Mn), tembaga (Cu), seng (Zn), timbal (Pb), timah (Sn), dan magnesium (Mg).
- Unit atomisasi (Atomiser nyala)
Atomisasi dilakukan untuk menghasilkan atom netral. Baik nyala api (pendekatan paling populer) dan tanpa nyala api dapat digunakan untuk melakukan proses atomisasi.
- Sistem Optik
Sinar dari sumber radiasi difokuskan oleh sistem optik, yang juga mengarahkannya ke sampel, melewatinya melalui monokromator, dan kemudian mengarahkannya ke detektor.
- Monokromator
berfungsi untuk menghilangkan panjang gelombang tertentu dari spektrum yang dihasilkan oleh lampu katoda berongga sekaligus mengisolasi berkas yang diperlukan (satu atau lebih garis resonansi dengan panjang gelombang tertentu). Alat yang digunakan dalam monokromator meliputi cermin, lensa, filter, prisma, atau kisi difraksi. Monokromator yang digunakan harus mampu memberikan resolusi terbaik, biasanya memiliki resolusi sekitar 0,2 nm.

- Detektor
berfungsi untuk mengukur intensitas radiasi foton dari garis resonansi yang dihasilkan oleh monokromator dan mengubahnya menjadi arus listrik. Umumnya, detektor ini menggunakan tabung pengganda foton (photo multiplier tube). Salah satu syarat detektor utama adalah harus sensitif terhadap cahaya.
- Amplifier
Berfungsi untuk memperkuat sinyal listrik yang dihasilkan oleh detector.

2.4.2. Analisis Kualitatif dengan Penambahan NaOH

Teknik pengujian kualitatif ini memakai larutan NaOH 1M untuk mengidentifikasi pembentukan endapan, dengan perubahan warna sebagai parameter utama dalam observasi. Dalam pengujian ini, terdapat empat kelompok yang digunakan, yaitu: kontrol positif (larutan timbal), kontrol negatif (larutan tanpa timbal), kontrol pembanding (larutan sampel yang dicampur dengan larutan timbal), dan larutan sampel. Masing-masing kelompok ditambahkan 2-3 tetes larutan NaOH 1 M, sehingga menghasilkan endapan partikel berwarna putih (Anifatu Huzaeroh1 *et al.*, 2023).