

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kopi Bubuk (*Coffea sp.*)**

##### **2.1.1 Definisi Kopi Bubuk (*Coffea sp.*)**

Kopi bubuk adalah produk yang diperoleh dari biji kopi (*Coffea sp.*) yang telah melalui proses pemanggangan dan penggilingan untuk menghasilkan bubuk halus yang cocok untuk diseduh. Saat diseduh dengan air panas, senyawa seperti kafein, minyak essensial asam organik, dan senyawa fenolik akan larut sehingga menghasilkan cita rasa dan aroma khas kopi. Kualitas kopi bubuk dipengaruhi oleh berbagai faktor, yaitu jenis kopi yang digunakan, tingkat penyangraian, ukuran gilingan, serta proses pengolahan fermentasi dan pengeringan.



Gambar 2. 1 Kopi Bubuk

Bubuk kopi terdiri dari berbagai senyawa kimia yang penting dalam membentuk aroma, rasa, dan warnanya, serta mempengaruhi fungsi fisiologis dalam tubuh. Salah satu senyawa utama yang terdapat dalam bubuk kopi adalah kafein, yang termasuk dalam kelompok alkaloid xantin atau basa purin. Kafein memiliki rasa pahit, dan memiliki aroma yang khas (Agustine dkk., 2021). Kafein diklasifikasikan sebagai basa lemah yang dapat menguap bersama air. (Maramis et al., 2013) menyatakan bahwa kafein dalam kopi memiliki sifat farmakologis yang dapat meningkatkan kontraksi otot jantung, merelaksasi otot-otot polos terutama di bronkus, dan merangsang sistem saraf pusat. Selain itu, kopi juga mengandung senyawa trigonelline, selama proses penyangraian (*roasting*) akan terurai menjadi asam nikotinat (vitamin B3) dan senyawa volatil yang menghasilkan aroma khas kopi. Serta mengandung karbohidrat dan gula seperti sukrosa, glukosa, dan fruktosa yang mengalami reaksi maillard selama proses penyangraian (*roasting*).

### **2.1.2 Data Statistik Konsumsi Kopi Bubuk Kabupaten Malang**

Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Malang melaporkan pada tahun 2024, menunjukkan tingkat konsumsi kopi bubuk di Kabupaten Malang yaitu, mencapai 0,306 kilogram per kapita setiap minggu, yang setara dengan sekitar 15,91 kilogram per kapita per tahun. (Badan Pusat Statistik Kota Malang, 2024). Data tersebut menunjukkan bahwa konsumsi kopi telah mengalami pergeseran peran dalam masyarakat, di mana minum kopi tidak lagi hanya dipandang sebagai aktivitas rekreasi tetapi sekarang menjadi bagian dari gaya hidup modern. Kebiasaan ini berperan penting sebagai sarana relaksasi, media interaksi sosial, serta pendukung produktivitas masyarakat dalam menjalani aktivitas sehari-hari. Namun dibalik itu, terdapat aspek keamanan pangan yang perlu diperhatikan karena kopi dapat mengalami kontaminasi logam berat seperti timbal (Pb) selama proses pengolahan.

### **2.1.3 Definisi Logam Berat**

Logam berat merupakan kelompok unsur yang memiliki massa atom, nomor atom, dan densitas tinggi, yaitu lebih dari  $5 \text{ g/cm}^3$ . Apabila konsentrasinya melebihi batas aman, logam berat dapat membahayakan kesehatan (Supriyantini dan Soenardjo, 2015). Logam berat diklasifikasikan menjadi dua kategori, yaitu logam berat fungsional dan nonfungsional. Logam berat fungsional, seperti Cu, Fe, Zn, Co, dan Mn, dibutuhkan oleh tubuh dalam jumlah tertentu untuk menunjang proses biologis. Sebaliknya, logam berat nonfungsional, seperti Pb, Hg, Cu, dan Cr, tidak mempunyai fungsi biologis bagi tubuh serta berpotensi membahayakan kesehatan apabila terakumulasi dalam tubuh (Syarifullah et al., 2018).

### **2.1.4 Timbal (Pb)**

Timbal (Pb) adalah unsur kimia yang diklasifikasikan sebagai logam berat dengan nomor atom 82. Secara kimia, timbal dapat membentuk berbagai senyawa dengan bilangan oksidasi yang paling umum adalah +2 dan +4 (Yolanda, et al., 2017). Dalam tabel periodik unsur, timbal (Pb) termasuk dalam golongan IVA dan periode ke-6. Secara fisik, timbal (Pb) memiliki karakteristik fisik berupa tekstur lunak, berwarna kelabu, mengkilap, dan mempunyai titik leleh yang rendah sekitar  $327^\circ\text{C}$ .

Mekanisme pencemaran logam timbal (Pb) pada tanaman kopi yaitu pada saat akar tanaman kopi berinteraksi dengan tanah yang telah terkontaminasi, ion timbal akan menempel pada permukaan akar dan sebagian dapat terserap ke dalam jaringan tanaman. Pada umumnya, sebagian besar timbal (Pb) akan tertahan pada bagian akar karena logam memiliki kemampuan tinggi untuk berikatan dengan dinding sel dan senyawa organik di sekitar daerah perakaran (*rhizosfer*). Namun, dalam kondisi tertentu sebagian kecil timbal (Pb) dapat terbawa oleh aliran air melalui pembuluh xilem dan berpindah menuju batang, daun, hingga buah kopi. Meskipun sebagian besar timbal (Pb) umumnya tertahan dalam akar dan hanya sedikit yang sampai ke biji kopi, kontaminasi pasca panen seperti dari debu atau tanah yang tercemar, dapat meningkatkan kadar timbal (Pb) pada biji (Berego et al., 2023). Oleh karena itu, pengelolaan lahan yang baik dan pengawasan terhadap potensi sumber pencemar sangat diperlukan untuk mencegah akumulasi logam berat pada tumbuhan kopi.

Pencemaran logam berat timbal (Pb) pada kopi tidak hanya berasal dari tanah atau tempat kopi ditanam, tetapi juga bisa terjadi pada saat proses pengolahan pasca panen. Meskipun tanaman kopi dapat menyerap jenis logam beracun seperti timbal (Pb) dari tanah yang tercemar, namun beberapa penelitian menunjukkan bahwa kadar logam dalam biji kopi bisa meningkat karena proses pengolahan yang kurang bersih. Salah satu contohnya adalah proses penyangraian (*roasting*) dan penggilingan (*grinding*), yang dapat menjadi sumber kontaminasi apabila alat sangrai terbuat dari logam yang sudah berkarat, dan penggunaan bahan bakar.

#### **2.1.5 Toksisitas Logam Berat Timbal (Pb)**

Timbal (Pb) dapat menumpuk di dalam tubuh dan memiliki efek merugikan bagi kesehatan ketika kopi bubuk dikonsumsi secara rutin. Paparan timbal (Pb) dalam jangka lama dapat menyebabkan masalah pada ginjal, hati, otak, dan sistem hematologi (Mandal et al., 2022). Selain itu, penumpukan timbal (Pb) dapat mempengaruhi proses pertumbuhan dan perkembangan tubuh, mengganggu sistem reproduksi, dan mengurangi fungsi kognitif (Nelson et al., 2019).

### 2.1.6 Metode Untuk Analisis Logam Berat Timbal (Pb)

Beberapa metode analitik untuk menentukan logam berat timbal (Pb), yang pertama yaitu *Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy* (ICP-OES). Metode ini bekerja dengan prinsip bahwa sampel logam diubah menjadi aerosol melalui proses nebulisasi menggunakan gas argon. Menurut penelitian (Indriana, et al., 2012). ICP-OES memiliki kemampuan analisis berbagai jenis logam secara bersamaan, memiliki kepekaan dan ketepatan yang tinggi, serta mampu mendeteksi unsur logam dalam kadar yang sangat kecil. Namun metode ini juga memiliki kelemahan yaitu, biaya operasional yang tinggi, perawatan rumit, dan tingkat kepekaannya masih rendah dibandingkan dengan ICP-MS dan kemungkinan terjadi gangguan spektrum (interferensi).

Metode kedua adalah *Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry* (ICP-MS) yang bekerja berdasarkan ionisasi sampel menggunakan plasma gas mulia (*noble gas*) suhu tinggi, kemudian ion-ion yang terbentuk dipisahkan dan dideteksi berdasarkan perbandingan antara massa dan muatannya ( $m/z$ ). Menurut penelitian (Agustina V., 2020) ICP-MS memiliki kepekaan yang tinggi, analisis multi unsur dalam satu kali pengukuran, pelaksanaannya relatif sederhana, serta dapat membedakan isotop dari unsur yang sama. Sedangkan kelemahan utama dari ICP-MS adalah rentan terhadap interferensi baik secara kimia maupun fisika (*non-spectral*). Selain itu, biaya operasional yang tinggi. ICP-MS kurang efektif untuk menganalisis unsur yang memiliki energi ionisasi tinggi atau unsur yang ada di udara seperti oksigen (O), nitrogen (N), dan karbon (C).

Ketiga yaitu metode Spektrofotometri Uv-Vis bekerja dengan prinsip didasarkan pada absorpsi pada panjang gelombang tertentu dari suatu sampel yang dianalisis. Menurut penelitian (Elsan dan Minarsih, 2022) metode spektrofotometri Uv-vis memiliki beberapa kelebihan, yaitu bersifat selektif, memiliki tingkat ketelitian tinggi, dan mampu melakukan analisis dalam waktu relatif singkat. Namun, metode ini juga memiliki kekurangan diantaranya yaitu, tidak semua logam dapat dianalisis secara langsung karena butuh pembentukan kompleks berwarna terlebih dahulu, hasil analisisnya dapat berubah tergantung pada kondisi sampel seperti, pH atau suhu, dan tingkat kepekaan lebih rendah dibandingkan dengan ICP MS/ ICP-OES dan SSA.

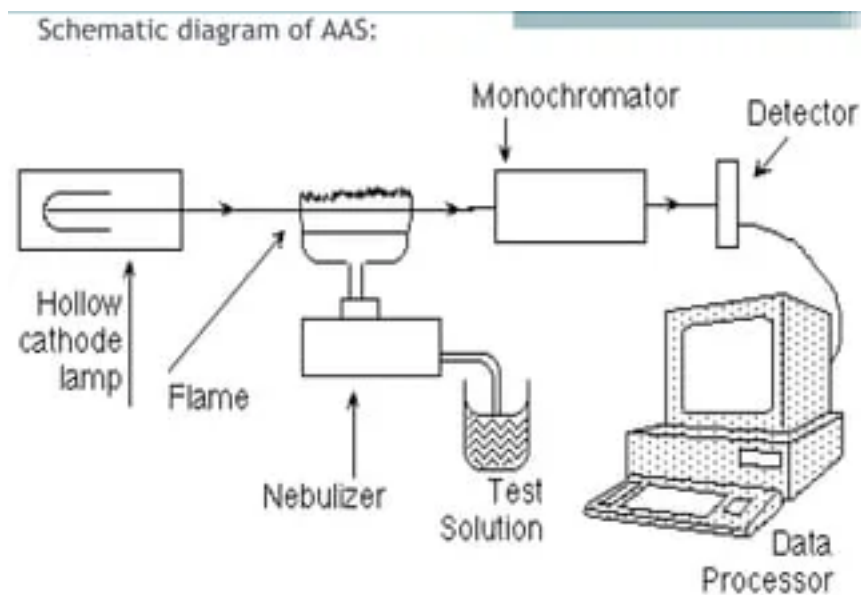
Selain metode-metode tersebut, metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) sering diterapkan untuk menganalisis logam berat. Pada dasarnya, prinsip SSA didasarkan dengan penyerapan energi oleh atom dalam keadaan dasar (*ground state*). Ketika atom menyerap energi dari sumber cahaya, elektron menjadi tereksitasi atau berpindah ke tingkat energi yang lebih tinggi (Indriati et al., 2021). Menurut penelitian metode SSA memiliki kelebihan dan kekurangan. Menurut penelitian (Shofiyyah, 2022) kelebihan dari metode ini adalah kemampuannya untuk menganalisis konsentrasi logam berat secara spesifik, karena hasil pengukurannya didasarkan pada banyaknya cahaya yang diserap, yang sebanding dengan jumlah unsur logam dalam sampel. Namun, kelemahan metode SSA adalah hanya dapat mengukur logam dalam bentuk atom, dan biaya analisis yang cukup besar.

Berbagai metode dapat digunakan untuk analisis logam berat, namun Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) adalah metode pengujian yang banyak digunakan dalam uji logam berat. Metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) memiliki ketelitian yang tinggi jika dibandingkan dengan ICP-MS dan ICP-OES. Hal ini terjadi karena nilai absorbansinya sangat stabil. Selain itu, terdapat hubungan linier yang kuat antara konsentrasi larutan standar dan hasil absorbansi dapat dilihat dari nilai ( $r$ ) mendekati 1. Selain itu, nilai  $\%RSD < 5\%$ , menunjukkan bahwa metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) memiliki tingkat presisi yang tinggi dalam analisis logam berat. Dibandingkan metode spektrofotometri Uv-Vis, Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) lebih unggul karena dapat mengukur logam secara langsung tanpa pembentukan kompleks berwarna. Oleh karena itu, Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) banyak digunakan dalam analisis logam berat, termasuk timbal (Pb) karena metode ini dinilai praktis, efisien, dan mampu menghasilkan data yang dipercaya.

## **2.2 Metode Analisis Logam Timbal (Pb) Menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)**

Salah satu metode analisis yang dimanfaatkan untuk menentukan kadar logam berat adalah Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). Metode ini digunakan untuk mengidentifikasi dan mengukur kandungan logam berat dalam suatu sampel (Gunanjar, 1997). Prinsip kerja metode ini didasarkan pada kemampuan atom bebas

dalam menyerap energi pada panjang gelombang tertentu ketika berada pada keadaan dasar. Pada saat logam atom menyerap cahaya yang dipancarkan oleh sumber radiasi, jumlah energi yang terserap akan berbanding lurus dengan konsentrasi unsur logam yang terkandung dalam sampel. Teori ini berlandaskan Hukum Lambert-Beer yang menjelaskan bahwa peningkatan konsentrasi zat penyerap dipengaruhi oleh panjang lintasan cahaya yang melewati larutan serta intensitas cahaya yang ditransmisikan.



Gambar 2.2. Prinsip Kerja Spektrofotometri Serapan Atom

Prinsip kerja Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) diawali dengan pengabutan larutan sampel menggunakan nebulizer sehingga terbentuk aerosol yang kemudian masuk ke dalam sistem atomisasi. Pada proses atomisasi terjadi penguapan pelarut dan pemecahan senyawa menjadi atom-atom bebas dalam keadaan dasar (*ground state*). Sumber radiasi berupa lampu katoda berongga (*Hollow Cathode Lamp*) khusus timbal (Pb) memancarkan cahaya dengan panjang gelombang karakteristiknya yaitu 283 nm. Cahaya tersebut akan diserap oleh atom timbal (Pb) bebas sehingga elektron mengalami transisi dari keadaan dasar ke keadaan tereksitasi. Besarnya energi yang diserap sebanding dengan jumlah atom timbal (Pb) yang terdapat dalam sampel. Cahaya yang diteruskan kemudian melewati monokromator untuk memilih panjang gelombang yang diinginkan sebelum diterima oleh detektor. Detektor mengubah energi cahaya menjadi sinyal listrik yang selanjutnya diolah menjadi nilai absorbansi. Nilai absorbansi tersebut

digunakan untuk menentukan konsentrasi Pb dalam sampel melalui kurva kalibrasi berdasarkan hukum Lambert-Beer.

Metode SSA memiliki banyak kelebihan, antara lain sensitivitas dan selektivitas yang tinggi, waktu analisis cepat, prosedur yang sederhana, serta kebutuhan sampel yang relatif sedikit. Selain itu, SSA mampu mendeteksi unsur logam dalam konsentrasi yang sangat rendah tanpa memerlukan proses pemisahan yang rumit, sehingga sangat efektif digunakan dalam analisis logam berat baik pada sampel lingkungan, pangan, biologi, maupun industri. Karena tingkat akurasi yang tinggi, metode ini menjadi salah satu teknik yang digunakan untuk analisis logam berat. Menurut penelitian (Hasmizal dan Bhernama, 2019), analisis menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) menunjukkan kadar timbal (Pb) dalam kedua sampel kopi Gayo, yaitu sampel A dan sampel B, terdeteksi pada konsentrasi yang sangat rendah yaitu 0,0001 mg/kg. Nilai kadar yang berhasil teridentifikasi berada di bawah batas penetapan SNI 01-3542-2004, yaitu 2,0 mg/kg.

### **2.2.1 Destruksi**

Destruksi adalah prosedur yang dilakukan untuk menguraikan atau mengubah sampel menjadi bentuk yang lebih sederhana untuk mempermudah analisis lebih lanjut. Proses ini dilakukan guna mengoksidasi senyawa organik yang terkandung dalam sampel, sehingga unsur-unsur yang terkandung dalam sampel dapat diidentifikasi dan dianalisis (Putri et al., 2025). Secara umum, proses destruksi terdiri atas dua metode utama, yaitu destruksi basah dan destruksi kering.

Destruksi basah merupakan metode penguraian sampel yang bertujuan untuk mengubah senyawa organik menjadi bentuk anorganik dengan menggunakan beberapa asam kuat, seperti asam perklorat ( $\text{HClO}_4$ ), asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ), serta zat pengoksidasi melalui proses pemanasan guna melarutkan logam berat. Dibandingkan dengan metode destruksi kering, metode ini dilakukan pada temperatur yang lebih rendah dengan waktu pengerjaan yang lebih singkat serta mampu mengurangi kemungkinan kehilangan analit, sehingga menghasilkan larutan yang lebih jernih (Ubaydillah dan Faqihudinn, 2021).

Destruksi kering adalah metode yang digunakan untuk menguraikan senyawa organik dalam sampel melalui proses pengabuan pada suhu tinggi. Secara umum, teknik ini dilakukan pada suhu berkisar antara 400–800°C, tergantung pada karakteristik sampel yang diuji. Namun, jika logam yang dianalisis mudah teroksidasi atau memiliki stabilitas rendah, hasil destruksi tidak sempurna (Andriani dkk., 2022). Pada destruksi kering, pemanasan menyebabkan komponen organik dalam sampel seperti karbohidrat, protein, lemak, dan serat mengalami dekomposisi dan oksidasi sehingga terbentuk residu anorganik (abu). Proses ini bertujuan menghilangkan matriks organik yang dapat mengganggu analisis logam. Suhu destruksi merupakan faktor penting yang mempengaruhi keberhasilan pengabuan. Suhu yang terlalu rendah dapat menyebabkan pengabuan tidak sempurna, sedangkan suhu yang terlalu tinggi berpotensi menyebabkan kehilangan analit akibat volatilisasi sehingga kadar logam yang terukur menjadi lebih rendah dari kadar sebenarnya (Faqihuddin & Ubaydillah, 2021). Setelah proses pengabuan selesai, residu abu umumnya dilarutkan menggunakan asam tertentu, seperti asam perklorat ( $\text{HClO}_4$ ), asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ), baik digunakan secara tunggal maupun dalam campuran sesuai kebutuhan analisis (Kristianingrum, 2012).

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 8964:2021, pengukuran kadar timbal (Pb) pada kopi bubuk diawali dengan pembuatan larutan standar Pb melalui pengenceran larutan stok Pb menggunakan air suling di dalam labu ukur hingga diperoleh larutan baku antara. Larutan tersebut kemudian dibuat dalam beberapa konsentrasi dengan pengenceran bertingkat menggunakan penambahan asam nitrat, lalu diencerkan dengan air suling sampai tanda batas. Larutan standar kerja Pb yang telah disiapkan tersebut digunakan untuk membuat kurva kalibrasi pada analisis SSA. Preparasi sampel diawali dengan penimbangan kopi bubuk secara teliti, kemudian dipanaskan bertahap menggunakan hotplate sampai asap tidak lagi terbentuk. Tahap berikutnya dilakukan proses pengabuan menggunakan tanur hingga diperoleh abu putih yang bebas dari sisa karbon. Apabila hasil pengabuan masih menunjukkan berwarna keabu-abuan (menandakan belum bebas karbon), abu dibasahi terlebih dahulu menggunakan beberapa tetes air, kemudian ditambahkan asam nitrat pekat secara perlahan. Sampel selanjutnya dipanaskan

kembali di atas hotplate dan diabukan kembali menggunakan tanur hingga diperoleh abu berwarna putih. Jika warna abu masih tampak keabu-abuan, penambahan asam nitrat serta proses pengabuan diulangi kembali. Abu hasil destruksi kemudian dilarutkan menggunakan asam klorida sambil dipanaskan hingga kering, selanjutnya ditambahkan asam nitrat dan diencerkan dengan air suling dalam labu ukur sampai tanda batas. Kemudian, dibuat larutan blanko dengan menambahkan asam klorida dan asam nitrat ke dalam labu takar, kemudian diencerkan dengan air suling hingga tanda batas. Larutan sampel bersama blanko dan larutan standar kemudian diuji menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). Nilai absorbansi yang diperoleh digunakan untuk membuat kurva kalibrasi, kemudian kadar timbal (Pb) dalam sampel dihitung berdasarkan persamaan regresi linier dan dinyatakan secara kuantitatif.