

BAB V

PEMBAHASAN

5.1 Pemilihan dan Preparasi Sampel

Penelitian ini menganalisis kadar timbal (Pb) pada sampel bedak padat yang dipasarkan melalui *e-commerce*, khususnya yang beredar di wilayah Jakarta Barat menggunakan metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). Analisis dilakukan untuk mengetahui kadar Pb dalam sampel serta menilai kesesuaiannya terhadap standar keamanan yang ditetapkan oleh BPOM. Di samping itu, penelitian ini juga mengevaluasi kinerja metode melalui parameter validasi agar data yang dihasilkan memiliki keandalan dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Pengujian dilakukan secara kualitatif melalui reaksi pengendapan dan secara kuantitatif menggunakan SSA. Metode ini dipilih karena memiliki tingkat sensitivitas dan selektivitas yang tinggi dalam analisis logam berat, sehingga mampu mengukur kadar timbal pada konsentrasi yang rendah²⁷.

Sampel penelitian terdiri dari 6 sampel bedak padat yang dipilih sesuai dengan kriteria inklusi dan eklusi yang telah ditetapkan, yaitu tidak memiliki nomor registrasi BPOM, berada pada rentang harga relatif rendah, serta memiliki tingkat penjualan yang tinggi. Pemilihan kriteria tersebut didasarkan pada pertimbangan bahwa produk tanpa nomor registrasi BPOM belum memiliki jaminan telah melalui proses evaluasi keamanan dan mutu sesuai ketentuan yang berlaku. Di sisi lain, tingginya angka penjualan menunjukkan bahwa produk tersebut digunakan oleh banyak konsumen sehingga aspek keamanannya perlu mendapat perhatian. Dengan demikian, pengujian kadar timbal pada sampel yang dipilih diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai potensi cemaran logam berat pada produk kosmetik yang beredar secara *online*. Kondisi tersebut didukung oleh hasil penelitian Mardiah *et al.* (2026) yang melaporkan bahwa peredaran kosmetik ilegal di Indonesia masih banyak ditemukan melalui platform *e-commerce*. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa produk kosmetik yang tidak memiliki izin edar BPOM tetap dapat diakses dengan mudah oleh konsumen, serta berpotensi mengandung bahan berbahaya yang tidak memenuhi standar keamanan yang berlaku²⁸.

Setiap sampel diberi kode A, B, C, D, E, dan F sebagai penanda untuk mempermudah proses identifikasi serta pengolahan data selama penelitian

berlangsung. Tahap preparasi sampel dilakukan melalui metode destruksi basah, yaitu teknik penguraian sampel dengan menggunakan campuran asam disertai pemanasan untuk memisahkan logam dari matriks sampel sehingga siap dianalisis. Metode ini dipilih karena telah terbukti banyak diterapkan sebagai teknik preparasi dalam analisis kandungan logam berat pada berbagai jenis sampel, seperti air, bahan pangan, maupun produk kosmetik¹.

Penggunaan asam nitrat (HNO_3) 65% pada proses destruksi berperan penting dalam mengoksidasi matriks organik serta mengubah logam yang terdapat dalam sampel menjadi bentuk ion yang larut sehingga memudahkan proses analisis²⁹. Selain itu, Pemanasan dilakukan pada suhu sekitar $100^\circ C$. Suhu tersebut dipilih karena masih berada di bawah titik didih HNO_3 yaitu pada suhu $121^\circ C$ dan H_2O_2 pekat pada suhu $107^\circ C$, sehingga kehilangan pelarut akibat penguapan dapat diminimalkan selama proses berlangsung¹.

Selama pemanasan, terbentuk asap berwarna coklat yang menunjukkan terjadinya proses oksidasi oleh asam nitrat. Asap tersebut merupakan gas nitrogen dioksida (NO_2) yang terbentuk selama reaksi berlangsung. Berkurangnya hingga hilangnya asap coklat mengindikasikan bahwa sebagian besar bahan organik telah teroksidasi sehingga proses destruksi berlangsung secara optimal³⁰. Efektivitas proses destruksi kemudian ditingkatkan melalui penambahan hidrogen peroksida (H_2O_2). Kombinasi HNO_3 dan H_2O_2 diketahui dapat meningkatkan kemampuan oksidasi bahan organik sehingga proses destruksi berlangsung lebih sempurna dan menghasilkan larutan yang lebih jernih untuk analisis logam berat selanjutnya²⁹.

Penyaringan dilakukan untuk memisahkan residu hasil destruksi sehingga diperoleh filtrat yang lebih jernih dan homogen. Kejernihan larutan hasil destruksi menunjukkan bahwa matriks organik telah terurai dengan baik sehingga potensi interferensi selama proses atomisasi pada SSA dapat diminimalkan. Hal ini sesuai dengan konsep bahwa matriks sampel dapat menyebabkan gangguan pada proses atomisasi dan mempengaruhi akurasi pengukuran absorbansi³¹.

5.2 Pembuatan Larutan Standar

Larutan standar merupakan larutan yang memiliki konsentrasi tertentu dan telah diketahui secara akurat sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam analisis kuantitatif. Larutan ini dibuat dari bahan standar dengan tingkat kemurnian

tinggi untuk keperluan kalibrasi instrumen serta penentuan kadar analit dalam suatu sampel³². Pada penelitian ini, larutan standar disiapkan menggunakan timbal nitrat $[\text{Pb}(\text{NO}_3)_2]$. Senyawa tersebut dipilih karena memiliki kelarutan yang baik dalam air, sehingga mampu menghasilkan ion Pb^{2+} yang terdistribusi secara merata dalam larutan dan sesuai digunakan sebagai larutan standar³³. Oleh karena itu, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ umum digunakan sebagai sumber ion timbal dalam pembuatan larutan standar untuk analisis kuantitatif.

Penambahan HNO_3 bertujuan untuk menciptakan suasana asam sehingga ion Pb^{2+} tetap berada dalam bentuk terlarut dan stabil selama proses pembuatan larutan standar. $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ merupakan garam yang mudah larut dalam medium asam sehingga akan terdisosiasi menghasilkan ion Pb^{2+} dan ion nitrat (NO_3^-). Dalam proses ini tidak terbentuk endapan karena ion nitrat merupakan ion yang mudah larut dalam air. Keberadaan HNO_3 juga membantu mencegah terbentuknya senyawa timbal yang sukar larut, seperti $\text{Pb}(\text{OH})_2$, yang dapat terbentuk apabila pH larutan meningkat. Jika terjadi pengendapan, sebagian ion Pb^{2+} tidak akan berada dalam fase larutan sehingga konsentrasi timbal yang sebenarnya menjadi lebih rendah dari nilai yang diharapkan dan dapat memengaruhi keakuratan hasil analisis³⁴. Ketepatan konsentrasi larutan induk harus diperhatikan karena larutan ini berfungsi sebagai larutan awal yang akan diencerkan secara bertahap untuk menghasilkan larutan standar kerja dengan berbagai konsentrasi. Kesalahan pada tahap ini dapat menyebabkan seluruh konsentrasi larutan standar yang dibuat menjadi tidak akurat sehingga memengaruhi kurva kalibrasi dan hasil penetapan kadar Pb dalam sampel menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (AAS).

5.3 Pembuatan Larutan Kurva Kalibrasi

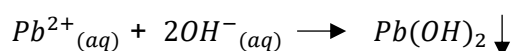
Pembuatan dilakukan dengan memipet masing-masing 0,5 mL, 2,5 mL, 5 mL, 7,5 mL, dan 10 mL larutan standar 10 ppm ke dalam labu ukur 50 mL, kemudian ditambahkan akuades hingga tanda batas dan dihomogenkan. Pengenceran bertingkat dilakukan karena konsentrasi larutan yang diinginkan jauh lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi larutan induk. Apabila pengenceran dilakukan secara langsung dari larutan 1000 ppm ke konsentrasi 0,1–2 ppm, volume larutan yang harus dipipet menjadi sangat kecil sehingga berpotensi meningkatkan kesalahan pengukuran. Dengan pengenceran bertahap, volume yang dipipet menjadi lebih mudah diukur dan ketelitian pembuatan larutan

standar dapat ditingkatkan. Selain itu, cara ini membantu memperoleh konsentrasi larutan yang lebih akurat untuk digunakan dalam pembuatan kurva kalibrasi. Ketelitian pada tahap pengenceran sangat penting karena konsentrasi larutan standar akan digunakan sebagai dasar pembentukan kurva kalibrasi dan perhitungan kadar Pb dalam sampel³⁵.

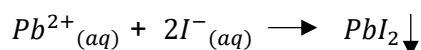
5.4 Uji Kualitatif Sampel Menggunakan Reaksi Pengendapan

Uji kualitatif timbal (Pb) menggunakan metode reaksi pengendapan dengan pereaksi NaOH 2N, KI 10%, dan HCl 2N. Pengujian dilakukan pada larutan standar Pb dan larutan sampel hasil destruksi basah. Larutan standar digunakan sebagai pembanding atau kontrol positif untuk melihat reaksi khas yang ditunjukkan oleh ion Pb^{2+} terhadap masing-masing pereaksi. Pereaksi NaOH akan bereaksi dengan ion Pb^{2+} membentuk endapan putih $Pb(OH)_2$, KI menghasilkan endapan kuning PbI_2 , sedangkan HCl menghasilkan endapan putih $PbCl_2$ ²⁶. Selanjutnya, reaksi yang terjadi pada sampel diamati dan dibandingkan dengan larutan standar, adanya ion Pb dalam sampel dapat diketahui dari terbentuknya endapan dengan karakteristik yang serupa dengan endapan pada larutan standar.

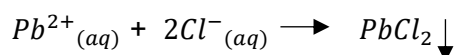
Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan hasil bahwa larutan standar Pb menunjukkan reaksi yang sesuai dengan teori, yaitu pada penambahan pereaksi NaOH, ion timbal (Pb^{2+}) bereaksi dengan ion hidroksida (OH^-) sehingga membentuk timbal hidroksida [$Pb(OH)_2$] dengan persamaan reaksi:



Senyawa tersebut memiliki kelarutan yang rendah dalam air sehingga membentuk endapan berwarna putih²⁶. Terbentuknya endapan putih ini menunjukkan adanya ion Pb^{2+} dalam larutan sehingga dapat digunakan sebagai salah satu indikator keberadaan timbal pada sampel. Pada penambahan pereaksi KI, ion timbal (Pb^{2+}) bereaksi dengan ion iodida (I^-) membentuk timbal iodida (PbI_2) dengan persamaan reaksi:



Karena kelarutannya yang rendah dalam air, senyawa ini akan mengalami pengendapan dan menghasilkan endapan berwarna kuning cerah³⁶. Endapan kuning tersebut merupakan ciri khas ion timbal dan sering digunakan sebagai indikator keberadaan Pb^{2+} dalam uji kualitatif. Pada penambahan pereaksi HCl, ion klorida (Cl^-) akan bereaksi dengan ion (Pb^{2+}) membentuk timbal klorida ($PbCl_2$) dengan persamaan reaksi:

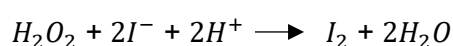


Kelarutan senyawa ini yang rendah dalam air menyebabkan terbentuknya endapan berwarna putih²⁶. Terbentuknya endapan putih tersebut menunjukkan terjadinya reaksi antara ion Pb^{2+} dengan ion klorida dalam larutan serta dapat digunakan sebagai salah satu indikator keberadaan timbal. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa semua pereaksi yang digunakan mampu memberikan reaksi khas terhadap ion Pb^{2+} sehingga dapat digunakan sebagai pembanding dalam identifikasi timbal pada sampel.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sampel B, C, dan D membentuk endapan berwarna putih, sedangkan sampel lainnya tidak mengalami perubahan. Terbentuknya endapan putih tersebut mengindikasikan adanya ion logam timbal yang bereaksi dengan ion hidroksida membentuk senyawa yang sukar larut, yang diduga berupa timbal hidroksida [$Pb(OH)_2$]. Pada sampel A, E, dan F tidak terlihat adanya perubahan setelah ditambahkan NaOH 2N. Hal ini menunjukkan bahwa tidak terjadi pembentukan endapan putih seperti yang terlihat pada larutan standar. Kondisi tersebut kemungkinan disebabkan oleh kandungan ion Pb^{2+} yang tidak ada atau jumlahnya sangat sedikit, sehingga $Pb(OH)_2$ yang terbentuk tidak cukup banyak untuk dapat diamati secara visual. Selain itu, endapan hanya dapat terbentuk apabila jumlah ion yang bereaksi dalam larutan mencukupi untuk menghasilkan senyawa yang sukar larut. Oleh sebab itu, tidak adanya endapan yang terbentuk pada ketiga sampel menunjukkan bahwa konsentrasi timbal diduga sangat rendah sehingga belum dapat terdeteksi melalui metode pengendapan yang digunakan³⁷.

Pada pengujian menggunakan KI 10%, sampel A, B, D, dan E menghasilkan warna coklat kehitaman, sedangkan sampel C menunjukkan warna

coklat keruh dan sampel F menunjukkan warna coklat jernih. Hasil tersebut tidak sesuai dengan reaksi khas ion Pb^{2+} yang seharusnya menghasilkan endapan kuning timbal iodida (PbI_2). Perbedaan ini diduga disebabkan oleh masih adanya sisa pereaksi destruksi dalam larutan sampel, terutama HNO_3 dan H_2O_2 yang bersifat oksidator kuat. Keberadaan oksidator tersebut dapat mengoksidasi ion iodida (I^-) dari KI menjadi iodin bebas (I_2) melalui reaksi oksidasi-reduksi³⁸ dengan persamaan reaksi:



Iodin yang terbentuk akan memberikan warna coklat hingga coklat kehitaman dalam larutan sehingga dapat menutupi warna kuning khas PbI_2 . Selain itu, matriks sampel kosmetik yang masih mengandung berbagai senyawa anorganik hasil destruksi juga berpotensi mengganggu proses pengendapan, sehingga reaksi yang diamati tidak menunjukkan karakteristik yang sama dengan larutan standar Pb. Oleh karena itu, warna coklat yang muncul diduga lebih dipengaruhi oleh reaksi samping akibat sisa oksidator dalam larutan dibandingkan pembentukan endapan PbI_2 secara sempurna.

Pada pengujian menggunakan HCl 2N, sampel B dan D menghasilkan endapan berwarna putih, sedangkan sampel A, C, E, dan F tidak menunjukkan adanya perubahan. Terbentuknya endapan putih pada sampel B dan D diduga terjadi karena ion Pb^{2+} bereaksi dengan ion klorida (Cl^-) dari HCl membentuk timbal klorida ($PbCl_2$) yang memiliki kelarutan rendah dalam air. Endapan putih yang terbentuk menunjukkan adanya kesamaan karakteristik dengan larutan standar Pb yang juga menghasilkan endapan putih setelah penambahan HCl²⁶.

Sementara itu, pada sampel A, C, E, dan F tidak terjadi perubahan setelah penambahan HCl 2N. Hal ini menunjukkan bahwa tidak terbentuk endapan $PbCl_2$ yang dapat diamati secara visual. Kondisi tersebut kemungkinan berkaitan dengan konsentrasi ion Pb^{2+} yang sangat rendah sehingga jumlah endapan yang terbentuk tidak cukup untuk terlihat, atau karena ion Pb^{2+} memang tidak terdapat dalam jumlah yang memadai untuk bereaksi dengan ion klorida. Selain itu, keberadaan komponen lain dalam matriks sampel juga dapat memengaruhi proses pengendapan sehingga reaksi khas timbal dengan HCl tidak terjadi secara optimal.

Berdasarkan hasil uji kualitatif, sampel B, C, dan D dipilih untuk dilakukan analisis kuantitatif karena menunjukkan hasil yang paling mendekati larutan standar Pb dibandingkan sampel lainnya. Sampel B dan D menghasilkan endapan putih pada penambahan NaOH 2N dan HCl 2N, sedangkan sampel C menghasilkan endapan putih pada penambahan NaOH 2N. Terbentuknya endapan tersebut mengindikasikan adanya kemungkinan ion Pb^{2+} dalam sampel karena menunjukkan karakteristik yang serupa dengan larutan standar. Sampel C menghasilkan endapan putih pada penambahan NaOH 2N tetapi tidak menunjukkan endapan pada penambahan HCl 2N. Kondisi tersebut dapat dipengaruhi oleh perbedaan tingkat kelarutan senyawa timbal yang terbentuk, di mana $Pb(OH)_2$ lebih mudah mengendap dibandingkan $PbCl_2$ ³⁷. Meskipun demikian, terbentuknya endapan putih dengan NaOH tetap mengindikasikan kemungkinan adanya ion Pb^{2+} dalam sampel.

Sementara itu, sampel A, E, dan F tidak menunjukkan hasil yang konsisten dengan reaksi khas timbal sehingga tidak dipilih untuk pengujian lanjutan. Oleh karena itu, sampel B, C, dan D dianggap sebagai sampel yang paling berpotensi mengandung timbal dan selanjutnya dianalisis secara kuantitatif untuk mengetahui kadar Pb yang terkandung di dalamnya.

5.5 Validasi Metode Spektrofotometri Serapan Atom

Validasi metode meliputi pengujian parameter kinerja analitik yang mencakup linearitas, akurasi, presisi, limit deteksi (LOD), dan limit kuantitasi (LOQ). Terpenuhinya parameter validasi megindikasikan bahwa metode AAS memiliki kelayakan untuk digunakan dalam analisis kadar Pb pada sampel penelitian. Selanjutnya, analisis kuantitatif dilakukan untuk mengetahui konsentrasi Pb yang terkandung dalam sampel B, C, dan D.

Parameter validasi pertama yang dievaluasi adalah linearitas, yaitu kemampuan suatu metode analisis dalam menunjukkan respons yang sebanding dengan konsentrasi analit pada rentang konsentrasi tertentu²⁵. Pengujian linearitas dilakukan dengan mengukur nilai absorbansi larutan standar Pb yang memiliki konsentrasi 0,1; 0,5; 1,0; 1,5; dan 2,0 ppm dengan spektrofotometri serapan atom (AAS). Nilai absorbansi yang diperoleh selanjutnya diplot terhadap konsentrasi larutan standar untuk membentuk kurva kalibrasi serta memperoleh persamaan regresi linear. Hubungan antara konsentrasi dan respons instrumen dievaluasi

berdasarkan nilai koefisien korelasi (r) maupun koefisien determinasi (R^2). Nilai r atau R^2 yang semakin mendekati 1 menunjukkan bahwa hubungan antara kedua variabel semakin linear. Berdasarkan hasil pengukuran, diperoleh persamaan regresi $y = 0,0123x - 0,0014$ dengan nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0,9985 dan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,997. Nilai tersebut mengindikasikan adanya hubungan linear yang sangat kuat antara konsentrasi Pb dan absorbansi yang dihasilkan. Dengan demikian, metode AAS yang digunakan telah memenuhi parameter linearitas sehingga dapat diterapkan untuk analisis kuantitatif kadar Pb dalam sampel penelitian.

Parameter validasi berikutnya yang dievaluasi adalah batas deteksi (LOD) dan batas kuantifikasi (LOQ). Kedua parameter tersebut digunakan untuk menilai tingkat sensitivitas suatu metode analisis. Nilai LOD menggambarkan konsentrasi Pb terendah yang masih dapat dideteksi oleh instrumen, sedangkan nilai LOQ menunjukkan konsentrasi Pb terendah yang masih dapat ditentukan secara kuantitatif dengan tingkat ketelitian dan ketepatan yang memadai²⁵. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai LOD sebesar 0,1465 ppm dan nilai LOQ sebesar 0,4883 ppm. Nilai LOD tersebut mengindikasikan bahwa metode spektrofotometri serapan atom (AAS) masih mampu mendeteksi keberadaan Pb pada konsentrasi yang sangat rendah. Sementara itu, nilai LOQ menunjukkan bahwa konsentrasi Pb mulai dapat diukur secara kuantitatif dengan hasil yang akurat dan andal. Rendahnya nilai LOD dan LOQ yang diperoleh menunjukkan bahwa metode AAS memiliki sensitivitas yang baik sehingga sesuai digunakan untuk mendeteksi sekaligus menentukan kadar Pb dalam sampel penelitian.

Parameter validasi berikutnya yang diuji adalah presisi, yaitu kemampuan metode analisis untuk menghasilkan data yang konsisten ketika pengukuran dilakukan secara berulang pada kondisi yang sama. Pengujian presisi dilakukan dengan mengukur absorbansi larutan standar Pb berkonsentrasi 1 ppm sebanyak enam kali. Hasil pengukuran selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai *Relative Standard Deviation* (RSD). Berdasarkan perhitungan, diperoleh nilai RSD sebesar 1,8887%. Nilai tersebut telah memenuhi kriteria presisi karena berada di bawah batas penerimaan sebesar 2%, yang menunjukkan bahwa metode AAS memiliki tingkat keterulangan yang baik serta mampu menghasilkan data yang konsisten dengan variasi antar pengukuran yang relatif rendah²⁵.

Parameter validasi yang diuji selanjutnya adalah akurasi, yaitu kemampuan metode untuk menghasilkan nilai pengukuran yang mendekati kadar sebenarnya dari analit. Uji akurasi dilakukan dengan metode penambahan standar (*standard addition*) menggunakan sampel C karena memiliki kadar Pb tertinggi dibandingkan sampel lainnya berdasarkan hasil analisis AAS. Pemilihan sampel dengan kadar Pb yang lebih tinggi bertujuan agar perubahan konsentrasi setelah penambahan standar dapat diamati dengan lebih jelas. Pengujian akurasi dilakukan dengan metode penambahan standar (*standard addition*) pada sampel C menggunakan larutan standar Pb pada tiga variasi kadar, yaitu 0,1 ppm, 1,0 ppm, dan 2,0 ppm yang masing-masing mewakili tingkat fortifikasi rendah, sedang, dan tinggi. Larutan standar dicampurkan dengan sampel menggunakan perbandingan 1:1 hingga mencapai volume akhir 10 mL, kemudian dianalisis menggunakan spektrofotometri serapan atom (AAS). Hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata nilai persen perolehan kembali (% *recovery*) sebesar 95,6761%. Nilai tersebut berada dalam rentang kriteria penerimaan 92–105%, sehingga menunjukkan bahwa metode memiliki tingkat akurasi yang baik dan mampu menghasilkan pengukuran yang mendekati kadar Pb sebenarnya¹¹.

5.6 Penetapan Kadar timbal (Pb) Pada Sampel Bedak Padat

Hasil validasi metode yang mencakup pengujian linearitas, batas deteksi (LOD), batas kuantifikasi (LOQ), presisi, dan akurasi menunjukkan bahwa seluruh parameter telah memenuhi kriteria yang dipersyaratkan. Dengan demikian, metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) dinyatakan valid dan dapat diterapkan untuk analisis kuantitatif kadar Pb dalam sampel bedak padat. Tahap selanjutnya adalah penetapan kadar Pb pada sampel yang sebelumnya teridentifikasi positif mengandung logam tersebut melalui pengujian kualitatif. Analisis kuantitatif dilakukan terhadap sampel B, C, dan D menggunakan SSA pada panjang gelombang 283,3 nm. Masing-masing sampel dianalisis sebanyak tiga kali (*triplo*) untuk meningkatkan ketelitian hasil, meminimalkan pengaruh kesalahan acak selama pengukuran, serta memperoleh nilai rata-rata yang lebih representatif. Kadar Pb dalam setiap sampel dihitung berdasarkan konsentrasi yang diperoleh dari persamaan regresi kurva kalibrasi, kemudian dikonversi ke dalam satuan mg/kg.

Hasil analisis menunjukkan bahwa sampel B memiliki rata-rata kadar Pb sebesar 27,3685 mg/kg, sampel C sebesar 19,8470 mg/kg, dan sampel D sebesar 6,6382 mg/kg. Dari ketiga sampel yang dianalisis, sampel B memiliki kadar Pb tertinggi, sedangkan sampel D memiliki kadar Pb terendah. Perbedaan kadar Pb pada masing-masing sampel dapat dipengaruhi oleh perbedaan bahan baku, proses produksi, penggunaan bahan tambahan, serta kemungkinan terjadinya kontaminasi selama proses pengolahan. Timbal dapat masuk ke dalam produk kosmetik melalui bahan baku yang terkontaminasi, terutama bahan mineral dan pigmen warna yang digunakan dalam formulasi produk³⁹.

Berdasarkan Peraturan BPOM Nomor 12 Tahun 2023 tentang Persyaratan Cemarkan dalam Kosmetika, batas maksimum cemarkan timbal (Pb) yang diperbolehkan dalam kosmetik adalah 20 mg/kg. Berdasarkan ketentuan tersebut, sampel B tidak memenuhi persyaratan keamanan karena memiliki kadar Pb sebesar 27,3685 mg/kg atau melebihi batas yang ditetapkan. Adapun sampel C dan D dinyatakan memenuhi persyaratan karena memiliki kadar Pb berturut-turut sebesar 19,8470 mg/kg dan 6,6382 mg/kg. Meskipun demikian, kadar Pb pada sampel C perlu mendapat perhatian karena nilainya sangat mendekati batas maksimum yang diperbolehkan.

Tingginya kadar timbal pada sampel B dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti penggunaan bahan baku mineral yang telah terkontaminasi logam berat, penggunaan pigmen yang mengandung cemarkan timbal, proses produksi yang kurang terkontrol, maupun penerapan pengendalian mutu yang belum optimal. Selain itu, produk kosmetik yang dipasarkan tanpa melalui pengawasan yang memadai berpotensi memiliki risiko cemarkan logam berat yang lebih tinggi dibandingkan produk yang telah memenuhi persyaratan keamanan⁴⁰.

Paparan Pb dapat terjadi melalui penggunaan kosmetik yang berulang sehingga memungkinkan logam tersebut masuk ke dalam tubuh melalui kulit dalam jumlah tertentu. Akumulasi Pb yang berlangsung secara terus-menerus berpotensi menimbulkan berbagai gangguan kesehatan, seperti gangguan sistem saraf, ginjal, hati, serta sistem pembentukan darah⁶. Oleh sebab itu, pengawasan terhadap kandungan logam berat pada produk kosmetik perlu dilakukan secara berkala untuk memastikan keamanan produk yang beredar dan melindungi kesehatan masyarakat.

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa cemaran timbal (Pb) masih ditemukan pada berbagai produk kosmetik. Penelitian oleh Arifiyana & Fernanda (2018) menunjukkan bahwa pensil alis mengandung Pb dengan rentang 1,092–5,834 mg/kg menggunakan metode SSA⁴. Selain itu, penelitian Ratih et al. (2025) juga menemukan bahwa lipstik mengandung Pb dengan kadar yang bervariasi, bahkan terdapat sampel yang mendekati atau melebihi batas BPOM⁴². Penelitian Rasyid *et al.* (2022) juga melaporkan bahwa seluruh sampel lip gloss yang diuji positif mengandung Pb, meskipun masih dalam batas aman⁴³.

Hasil penelitian ini mendukung temuan dari beberapa penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa produk kosmetik masih berpotensi mengandung cemaran timbal (Pb) dengan kadar yang berbeda-beda. Perbedaan kadar Pb yang diperoleh pada masing-masing sampel diperkirakan berkaitan dengan variasi bahan baku, proses manufaktur, serta kemungkinan adanya kontaminasi selama proses produksi maupun penanganan produk. Oleh karena itu, pengendalian mutu yang baik pada setiap tahapan produksi sangat diperlukan untuk memastikan keamanan produk kosmetik yang beredar di masyarakat.