General Chemistry Journal,
Vol. 4, No. 3, September 2026

Penentuan Kandungan Logam Berat Timbal Pada Ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*) Menggunakan Reagen Pengompleks Alizarine Red S (ARS) Secara Spektrofotometri UV-VIS

Dea Angeli Supit, Jenny Kumajas, Mustapa, Joice D S. Caroles*

Kimia, FMIPA-K Universitas Negeri Manado, Minahasa, 95618, Indonesia

INFO ARTIKEL

Diterima :
Disetujui :
Dipublikasi:

Key word:
Alizarine Red S
Lead (Pb)
Oreochromis mossambicus
UV-Visible spectrophotometry

Kata kunci:
Alizarine Red S
Ikan Mujair
Spektrofotometri UV-Vis
Timbal (Pb)

ABSTRACT

Lead (Pb) is a toxic heavy metal that can contaminate aquatic environments and accumulate in fish tissues, thereby posing potential risks to human health. This study aimed to evaluate the use of UV-Visible spectrophotometry with Alizarine Red S (ARS) as a complexing reagent for the determination of lead content in Mozambique tilapia (Oreochromis mossambicus) and to determine the Pb concentration in fish samples collected from Lake Tondano. The results showed that the maximum absorption wevelength of the Pb-ARS complex was 555 nm, with an optimum pH of 5 and a complex stability time of 6 minutes. The calibration curve produced a linear regression equation of $y = 0.0259x + 0.3448$ *with a correlation coefficient (r) of 0.9958, indicating excellent linearity. Method validation yielded a limit of detection (LOD) of 0.275 mg/L, a limit of quantification (LOQ) of 0.834 mg/L, an accuracy (% recovery) of 101.98%, and a precision (%RSD) of 1.46%. Analysis of the fish samples resulted in a Pb concentration of -0.455 mg/kg, indicating that the lead content was below the detection limit of the method and did not exceed the maximum permissible level of lead contamination established by the Indonesian Food and Drug Authority Regulation (BPOM RI No. 9 of 2022), which is 0.3 mg/kg. Therefore, the proposed method fulfills the analytical validation requirements and can be applied for lead determination, although its sensitivity remains relatively limited.*

ABSTRAK

Timbal (Pb) merupakan logam berat toksik yang dapat mencemari perairan dan terakumulasi dalam tubuh ikan sehingga berpotensi membahayakan kesehatan manusia. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penggunaan metode spektrofotometri UV-Vis menggunakan reagen pengompleks Alizarine Red S (ARS) dalam menentukan kandungan timbal pada ikan mujair (*Oreochromis mossambicus*) serta mengetahui kadar timbal pada sampel ikan mujair yang berasal dari Danau Tondano. Hasil penelitian menunjukkan bahwa panjang gelombang maksimum kompleks Pb-ARS berada pada 555 nm, dengan pH optimum 5 dan waktu kestabilan kompleks 6 menit. Kurva kalibrasi menghasilkan persamaan regresi linear $y = 0{,}0259x + 0{,}3448$ dengan koefisien korelasi (r) sebesar 0,9958 yang menunjukkan linearitas sangat baik. Validasi metode memberikan nilai LOD 0,275 mg/L, LOQ 0,834 mg/L, akurasi (% *recovery*) 101,98%, dan presisi (%RSD) 1,46%. Hasil analisis sampel menghasilkan nilai kadar Pb sebesar -0,455 mg/kg yang mengindikasikan bahwa kandungan timbal berada di bawah batas deteksi metode dan tidak melebih batas aman maksimum cemaran timbal berdasarkan BPOM No. 9 Tahun 2022, yaitu 0,3 mg/kg. Dengan demikian, metode ini memenuhi parameter analisis dan dapat digunakan untuk analisis timbal, meskipun sensivitasnya masih rendah.

*joicecaroles@unima.ac.id

Pendahuluan

Ikan mujair (*Oreochromis mossambicus*) merupakan salah satu ikan air tawar yang banyak dikonsumsi masyarakat Indonesia, termasuk masyarakat sekitar Danau Tondano, Sulawesi Utara karena memiliki kandungan

protein yang tinggi dan nilai gizi yang baik. Data Survei Sosial Ekonomi Nasional (Susenas) menunjukkan bahwa kontribusi protein ikan terhadap konsumsi protein hewani masyarakat Indonesia mencapai 57% [1]. Selain sebagai sumber protein, ikan ini juga mengandung berbagai nutrien penting yang berperan dalam menjaga kesehatan tubuh sehingga menjadi salah satu bahan pangan yang banyak diminati oleh masyarakat [2]. Tingginya Tingkat konsumsi ikan menjadikan aspek keamanan pangan perlu mendapat perhatian, terutama terkait kemungkinan adanya cemaran logam berat pada ikan konsumsi.

Salah satu logam berat yang sering menjadi perhatian dalam lingkungan perairan adalah timbal (Pb). Timbal merupakan logam non-esensial yang bersifat toksik dan dapat terakumulasi dalam jaringan organisme melalui proses bioakumulasi. Ikan mujair memiliki kebiasaan mencari makan disekitar dasar perairan (*benthic feeder*) sehingga lebih rentan terpapar logam berat yang terakumulasi pada sedimen maupun organisme bentik yang menjadi sumber makanannya [3]. Logam berat yang masuk ke lingkungan perairan dapat mengalami pengendapan dan selanjutnya diserap oleh organisme akuatik sehingga konsentrasinya dapat meningkat dalam jaringan tubuh organisme tersebut [4].

Danau Tondano merupakan salah satu perairan penting di Sulawesi Utara yang dimanfaatkan untuk berbagai aktivitas, seperti perikanan, pertanian, transportasi, dan kegiatan domestik masyarakat. Aktivitas tersebut berpotensi menghasilkan limbah yang mengandung logam berat dan masuk ke badan perairan. Timbal di kawasan Danau Tondano dapat berasal dari aktivitas bengkel, penggunaan bahan bakar bermotor, serta berbagai aktivitas antropogenik lainnya yang menghasilkan limbah mengandung logam berat [5].

Keberadaan timbal dalam bahan pangan perlu mendapat perhatian karena logam ini dapat memberikan dampak negatif terhadap kesehatan manusia. Paparan timbal dapat mengganggu pembentukan sel darah merah dan menyebabkan anemia [6]. Selain ini, paparan timbal dalam jangka panjang dapat menyebabkan gangguan neurologis, penurunan fungsi kognitif, serta gangguan perkembangan terutama pada anak-anak karena sifat neurotoksiknya [7].

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menentukan kadar timbal adalah spektrofotometri UV-Vis. Metode ini banyak digunakan karena memiliki prosedur yang relatif sederhana, biaya operasional yang lebih rendah, dan ketersediaan instrumen yang luas di laboratorium pendidikan maupun penelitian. Dalam analisis logam menggunakan spetrofotometri UV-Vis diperlukan pereaksi pengompleks yang mampu membentuk kompleks berwarna dengan ion logam sehingga dapat diukur absorbansinya. Salah satu reagen yang dapat digunakan adalah Alizarine Red S (ARS), yaitu senyawa turunan antrakuinon yang memiliki gugus hidroksil dan karbonil yang berperan dalam pembentukan kompleks logam [8]. Interaksi antara ion Pb^{2+} dengan gugus aktif pada ARS menghasilkan kompleks berwarna yang dapat menyerap radiasi pada daerah tampak sehingga memungkinkan penentuan kadar timbal secara spektrofotometri UV-Vis.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengkaji penggunaan ARS sebagai reagen pengompleks dalam penentuan timbal pada ikan mujair menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis serta memperoleh informasi mengenai kandungan timbal pada ikan mujair yang berasal dari Danau Tondano. Hipotesis penelitian ini adalah ARS mampu membentuk kompleks yang stabil dengan ion Pb^{2+} sehingga dapat digunakan dalam analisis timbal secara spektrofotometri UV-Vis dan memberikan respon analitik yang memadai untuk penentuan kadar timbal dalam sampel ikan mujair.

Metode

Sampel ikan mujair diperoleh dari perairan Danau Tondano dengan memilih ikan yang hidup secara alami dan tidak berasal dari kegiatan budidaya. Sampel dicuci dan dilakukan pemisahan antara daging, tulang, dan sirip. Daging ikan yang diperoleh selanjutnyya dihaluskan menggunakan lumpang dan alu. Sampel kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C dan

didinginkan dalam desikator sebelum digunakan pada tahap analisis.

Preparasi sampel dilakukan melalui metode destruksi basah mengacu pada prosedur yang dilaporkan oleh Wardani (2020) [9]. Sebanyak 2 g sampel ditimbang dan dimasukkkan ke dalam gelas beker berkapasitas 100 mL. Selanjutnya ditambahkan 10 mL akuades, 5 mL HNO_3 65%, dan 15 mL HCl 37%, kemudian campuran dipanaskan menggunakan *hot plate* hingga proses destruksi berlangsung sempurna. Pemanasan dilakukan sampai asap cokelat yang terbentuk menghilang dan larutan berubah menjadi jernih. Setelah dingin, larutan disaring menggunakan kertas saring *whattman* no. 42, dipindahkan ke dalam labu ukur 50 mL, kemudian diencerkan dengan akuades hingga tanda batas dan homogenkan.

Pereaksi Alizarine Red S (ARS) dibuat dengan melarutkan 100 mg ARS ke dalam akuades dan diencerkan hingga volume 100 mL sehingga diperoleh larutan dengan konsentrasi 1000 ppm.

Penentuan panjang gelombang maksimum dilakukan dengan 3 labu ukur 10 mL yang berbeda dimasukkan larutan standar timbal 500µL, ditambahkan buffer asetat pH 3, 4, dan 5 sebanyak 1 mL, ditambah ARS 1 mL. Campuran kemudian diukur menggunakan spektrofotometri UV-Vis untuk memperoleh panjang gelombang serapan maksimum kompleks Pb-ARS.

Stabilitas kompleks Pb-ARS ditentukan dengan mengukur perubahan absorbansi pada berbagai pH selama rentang waktu 0-30 menit dengan interval pengamatan setiap 5 menit. 3 labu ukur 10 mL yang berbeda dimasukkan larutan standar timbal sebanyak 1 mL. ditambahkan buffer asetat pH 3, 4, dan 5 sebanyak 1 mL, dan tambahkan ARS 1 mL sehingga menghasilkan kompleks ARS berwarna orange/merah. Kemudian dibaca absorbansinya pada masing-masing panjang gelombang optimum pada menit ke 0-30 setiap rentan waktu 5 menit dan ditentukan pH stabil beserta *operating time* masing-masing pH.

Kurva kalibrasi dibuat menggunakan lima variasi konsentrasi larutan standar $Pb(NO_3)_2$ 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5 ppm. Masing-masing larutan dimasukkan ke dalam vial sebanyak 1 mL, kemudian ditambahkan 1 mL buffer asetat pH optimum dan 1 mL larutan ARS. Setelah didiamkan selama *operating time*, absorbansi diukur pada panjang gelombang optimum. Data hasil pengukuran digunakan untuk memperoleh persamaan regresi linear dan nilai koefisien korelasi (r). Metode kuantifikasi yang digunakan pada penelitian ini adalah metode standar eksternal. Dimana, larutan standar dan sampel diukur secara terpisah, kemudian konsentrasi analit dalam sampel ditentukan berdasarkan persamaan regresi yang diperoleh dari kurva kalibrasi.

Batas deteksi (BD) dan batas kuantitasi (BK) ditentukan berdasarkan perhitungan statistik dari regresi linear kurva kalibrasi. Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$BD = \frac{3 \times S_y}{slope} \quad (1)$$

$$BK = \frac{10 \times {}^{S_y}/_{x}}{slope} \quad (2)$$

Keterangan:
S_y = simpangan baku residual

Uji akurasi dilakukan dengan mengambil masing-masing 1 mL buffer asetat pada pH optimum dan 1 mL larutan ARS. Larutan didiamkan selama *operating time*, kemudian dilakukan pengukuran absorbansi pada panjang gelombang optimum. Hasil pengukuran digunakan untuk menghitung persen perolehan Kembali (% *recovery*).

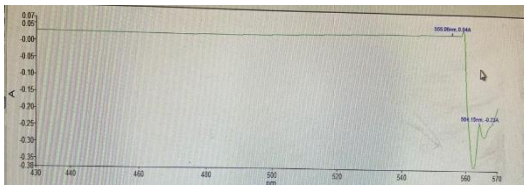
Pengujian presisi dilakukan dengan prosedur yang sama seperti uji akurasi. Setiap konsentrasi larutan standar dibuat 2 kali pengulangan. Nilai presisi metode dinyatakan dalam bentuk standar deviasi (SD) dan koefisien variasi (KV).

Pengukuran kadar timbal pada sampel ikan mujair dilakukan dengan mereaksikan 1 mL larutan hasil destruksi dengan buffer asetat pada pH optimum dan larutan ARS. Campuran didiamkan selama waktu optimum yang telah ditentukan, kemudian absorbansinya diukur menggunakan spektrofotometri UV-Vis pada panjang gelombang maksimum kompleks Pb-ARS. Konsentrasi timbal dalam sampel selanjutnya ditentukan berdasarkan kurva kalibrasi yang telah diperoleh sebelumnya.

Hasil dan Pembahasan

1. Panjang Gelombang

Penentuan panjang gelombang optimum dilakukan terhadap kompleks yang terbentuk antara Pb(II) dan ARS. Hasil pemindaian spektrum menunjukkan bahwa kompleks Pb(II)-ARS memberikan serapan maksimum pada panjang gelombang 555 nm karena pada kondisi tersebut absorbansi yang dihasilkan paling tinggi sehingga perubahan konsentrasi analit dapat terdeteksi dengan lebih sensitif dan akurat.



Gambar 1. Panjang Gelombang Optimum

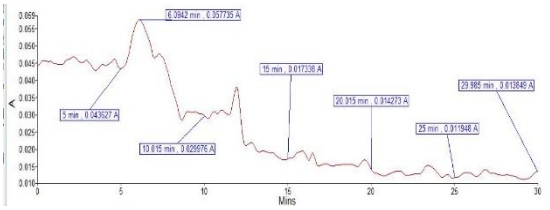
Munculnya puncak serapan pada daerah visible menunjukkan bahwa telah terjadi pembentukan kompleks antara ion Pb^{2+} dan ARS. ARS memiliki gugus hidroksil dan karbonil yang berperan sebagai donor pasangan elektron dalam proses koordinasi dengan ion logam. Interaksi tersebut menghasilkan kompleks berwarna yang mampu menyerap radiasi elektromagnetik pada daerah vahaya tampak. Pembentukan kompleks menyebabkan perubahan distribusi elektron pada struktur ARS sehingga sistem konjugasi menjadi lebih luas dibandingkan pereaksi bebas.

Perubahan struktur elektronik tersebut berpengaruh terhadap energi transisi elektron yang diperlukan selama proses absorpsi. Semakin luas delokalisasi elektron yang terjadi, semakin kecil energi yang dibutuhkan untuk transisi elektron sehingga serapan cahaya bergeser ke arah panjang gelombang yang lebih besar. Fenomena ini dikenal sebagai pergeseran batokromik dan umum ditemukan pada pembentukan kompleks logam dengan zat warna organik [10].

Panjang gelombang maksimum yang diperoleh pada penelitian ini masih berada dalam rentang serapan kompleks logam-ARS yang dilaporkan oleh beberapa peneliti sebelumnya, yaitu sekitar 520-560 nm. Rentang tersebut menunjukkan bahwa pembentukan kompleks menghasilkan peningkatan konjugasi elektron yang menyebabkan absorpsi kuat pada daerah visible.

2. Stabilitas Kompleks Pb-ARS

Stabilitas kompleks Pb-ARS dievaluasi melalui pengamatan pengaruh pH larutan dan waktu pembentukan kompleks terhadap nilai absorbansi yang dihasilkan dan diperoleh kondisi optimum pada pH 5 dengan waktu pengukuran selama 6 menit. Pada kondisi tersebut, absorbansi kompleks menunjukkan nilai relatif konstan, yang mengindikasikan bahwa proses pembentukan kompleks telah berlangsung secara maksimal.



Gambar 2. Stabilitas Kompleks Pb-ARS

Pengaruh pH terhadap pembentukan kompleks Pb-ARS berkaitan erat dengan keadaan gugus aktif pada molekul ARS dan spesiasi ion timbal dalam larutan. Pada kondisi yang terlalu asam, gugus hidroksil dan karbonil pada ARS cenderung mengalami protonasi sehingga kemampuan molekul tersebut untuk berkoordinasi dengan ion Pb^{2+} menjadi berkurang. Akibatnya, pembentukan kompleks Tidak berlangsung secara optimal dan intensitas warna yang dihasilkan menjadi lebih rendah [11]. Sebaliknya, pada kondisi yang lebih basa, ion Pb^{2+} dapat bereaksi dengan ion hidroksida membentuk spesies hidroksida uang kurang larut, sehingga konsentrasi ion Pb^{2+} yang tersedia untuk berikatan dengan ARS menurun dan menyebabkan absorbansi kompleks menjadi kurang stabil [12].

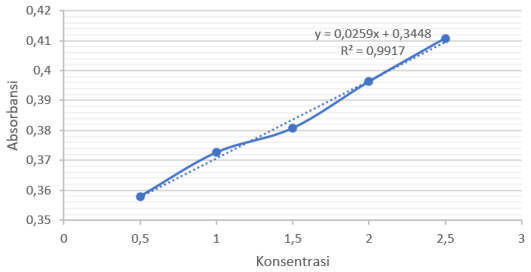
Waktu kestabilan kompleks yang diperoleh, yaitu 6 menit, menunjukkan bahwa reaksi pembentukan kompleks Pb-ARS berlangsung relatif cepat. Setalah mencapai waktu tersebut, perubahan absorbansi yang terjadi relatif kecil sehingga dapat diasumsikan bahwa kesetimbangan pembentukan kompleks telah tercapai. Stabilitas absorbansi setelah waktu optimum mengindikasikan bahwa kompleks yang terbentuk cukup stabil untuk dilakukan pengukuran spektrofotometri.

3. Kurva Kalibrasi

Hubungan antara konsentrasi larutan standar timbal dan nilai absorbansi yang dihasilkan untuk menysusun kurva kalibrasi sebagai dasar analisis kuantitatif dan dilakukan terhadap deret larutan standar yang telah direaksikan dengan buffer asetat pH optimum dan ARS. Data yang diperoleh persamaan regresi, yaitu *slope* 0,0259, *intercept* 0,3448, dan koefisien korelasi (r) 0,9958.

Table 1. Nilai Absorbansi Deret Standar

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
0,5	0,3579
1	0,3726
1,5	0,3807
2	0,3963
2,5	0,4108



Gambar 3. Kurva Kalibrasi

Nilai *slope* mencerminkan sensitivitas metode terhadap perubahan konsentrasi analit. Semakin besar kemiringan kurva yang dihasilkan, semakin besar pula perubahan absorbansi yang terjadi akibat peningkatan konsentrasi timbal dalam larutan. Dengan demikian, nilai *slope* yang diperoleh menunjukkan bahwa kompleks Pb-ARS mampu memberikan respon yang proposional terhadap perubahan konsentrasi ion Pb^{2+} sehingga dapat digunakan untuk analisis kuantitatif [13].

Koefisien korelasi 0,9958 menunjukkan adanya hubungan linear yang sangat kuat antara konsentrasi dan absorbansi. Nilai koefisien korelasi yang mendekati satu mengindikasikan bahwa metode memiliki linearitas yang baik dan layak digunakan untuk analisis kuantitatif [14].

4. Batas Deteksi (LOD) Batas Kuantitasi (LOQ)

LOD merupakan konsentrasi analit terendah yang masih dapat terdeteksi dan dibedakan dari blanko, sedangkan LOQ adalah konsentrasi analit terendah yang masih dapat ditentukan secara kuantitatif dengan baik [15]. Diperoleh nilai LOD 0,275 mg/L dan LOQ 0,834 mg/L.

Nilai tersebut menunjukkan bahwa metode memiliki sensitivitas yang cukup baik karena konsentrasi Pb terendah yang masih dapat dikuantifikasi secara akurat sebesar 0,834 mg/L. Semakin kecil nilai LOD dan LOQ, maka sensitivitas metode analisis semakin baik.

5. Akurasi

Berdasarkan hasil pengukuran absorbansi terhadap variasi konsentrasi larutan standar, diperoleh data bahwa nilai absorbansi meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi larutan. Parameter akurasi pada penelitian ini dinyatakan sebagai:

Tabel 2. Data Hasil Akurasi

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
0,5	0,3579
1	0,3726
1,5	0,3807
2	0,3963
2,5	0,4158

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai absorbansi meningkat seiring bertambahnya konsentrasi larutan standar timbal. Pada konsentrasi 0,5 ppm diperoleh absorbansi 0,3579 dan meningkat hingga 0,4158 pada konsentrasi 2,5 ppm. Peningkatan absorbansi tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi Pb berbanding lurus dengan intensitas serapan kompleks Pb-ARS.

Nilai persen perolehan kembali (% *recovery*) 101,98% menunjukkan bahwa metode memiliki akurasi yang baik karena masih berada dalam rentang penerimaan 80-120%. Nilai *recovery* yang mendekati 100% menandakan bahwa metode mampu menentukan kadar analit secara tepat tanpa kehilangan analit yang signifikan selama proses analisis sehingga metode dinyatakan valid untuk analisis kuantitatif [16].

6. Presisi

Uji presisi dilakukan untuk mengevaluasi Tingkat keterulangan hasil pengukuran pada kondisi analisis yang sama. Presisi metode dinyatakan dalam nilai *Relative Standard Deviation* (%RSD), dimana semakin kecil nilai %RSD maka Tingkat ketelitian metode semakin baik. Pada penelitian ini, pengujian presisi dilakukan melalui pengulangan pengukuran absorbansi dua kali pada setiap variasi konsentrasi larutan standar timbal. Hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3. Data Hasil Presisi

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi 1	Absorbansi 2
0,5	0,3376	0,3388
1	0,3499	0,3544
1,5	0,3883	0,3772
2	0,4229	0,4120
2,5	0,4474	0,4333

Berdasarkan hasil pengukuran, nilai absorbansi pada setiap pengulangan menunjukkan hasil yang relatif berdekatan, sehingga menandakan bahwa metode spektrofotometri UV-Vis yang digunakan memiliki keterulangan yang baik. Nilai %RSD yang diperoleh 1,46%.

Nilai %RSD yang rendah menunjukkan bahwa hasil pengukuran antar pengulangan memiliki tingkat kedekatan yang tinggi, sehingga metode mampu memberikan hasil yang konsisten dan reproduktif. Dalam validasi metode spektrofotometri, nilai %RSD kurang dari 5% menunjukkan bahwa metode memiliki repeatabilitas yang baik dan layak digunakan untuk analisis rutin [17].

7. Penetapan Kadar Sampel

Dari data hasil pengukuran yang telah dilakukan, absorbansi dan perolehan kadar dari masing-masing sampel ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 4. Kandungan Timbal pada Sampel

Sampel	Absorbansi	Kadar (mg/kg)
1	0,333	-0,455
1	0,333	-0,455
1	0,333	-0,455

Pengukuran kadar timbal (Pb) sampel yaitu diperoleh persamaan $y = bx + a$. Hasil analisis menunjukkan bahwa kadar timbal (Pb) pada sampel ikan mujair sebesar -0,455 mg/kg, dibandingkan dengan batas maksimum cemaran logam berat pada produk perikanan menurut Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia Nomor 9 Tahun 2022, yaitu sebesar 0,3 mg/kg. Nilai tersebut tidak melebihi ambang batas yang ditetapkan BPOM [18].

Nilai negatif tersebut tidak menunjukkan keberadaan konsentrasi Pb yang sebenarnya, melainkan mengindikasikan bahwa absorbansi sampel berada di bawah absorbansi blanko atau berada di bawah batas deteksi metode. Kondisi ini dapat disebabkan oleh kadar Pb yang sangat rendah.

Ucapan terima kasih

Disampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam pelaksanaan penelitian dan penyusunan naskah in, khususnya Ibu Vlagia I. Paat dan Ibu Joice D. S. Caroles atas bimbingan , arahan, bantuan, dan dukungan selama proses pengambilan data dan penyusunan artikel ini.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, metode spektrofotometri UV-Vis menggunakan reagen pengompleks ARS dinyatakan valid untuk analisis timbal (Pb). Hal ini ditunjukkan oleh parameter validasi yang memenuhi syarat penerimaan.

Hasil pengukuran kadar sampel sebesar -0,455 mk/kg. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kadar Pb berada di bawah batas deteksi sehingga dapat dinyatakan tidak terdeteksi.

Daftar Pustaka

1. Saefudin, D. Esensi Hari Ikan Nasional. 2015.
2. Setianto, D. Budidaya Ikan Mujair di Berbagai Media Pemeliharaan. *Pustaka Baru Press*. 2012.
3. Fendjalang, S.N.M.; Krisye, K.; Rupilu, K. Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb) pada Sedimen di Perairan Pantai Kupa-Kupa Kabupaten Halmahera Utara. *Journal of Coastal and Deep Sea*. 2023
4. Karundeng, M.; Paat, V.; Rumengan, S. Penggunaan Electrode Grafit Pensil Secara Voltammetri Differential Pulse Untuk

Analisis Kadmium Dalam Sampel Ikan Cakalang (*Katsuwonus pelamis*) Fufu. *Fullerene Journal of Chemistry*. 2023. 7(1), 41-46.
5. Jusuf, R.; Kawung, N.J.; Rumampuk, N.D. Analisis Kandungan Timbal (Pb) dan Seng (Zn) pada Air dan Ikan di Danau Tondano Kecamatan Remboken. *Jurnal KESMAS*. 2021. 10(6), 120-127.
6. Naria, E. Mewaspadai Dampak Bahan Pencemar Timbal (Pb) di Lingkungan Terhadap Kesehatan. *Jurnal komunikasi penelitian*. 2005. 17(4), 66-72.
7. Salsabilla, R.O.; Pratama, B.; Angraini, D.I. The Kadar Timbal Darah pada Kesehatan Anak. *Jurnal Penelitian Perawat Profesional*. 2020. 2(2), 119-124.
8. Selpiana, E.; Lia, D.N. Perbandingan Metode Penentuan Pb (II) di Sungai Kapuas Secara Spektrofotometri UV-Vis Cara Kalibrasi Terpisah dan Adisi Standar. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*. 2016. 5(1).
9. Wardani, G.G.; Abiya, S.L.; Setiawan, F. Analysis of the Lead on Lip Tint Cosmetics on the Market Using UV-Vis Spectrophotometry Method. *EduChemia (Jurnal Kimia dan Pendidikan)*. 2020. 5(1), 87-100.
10. Ahmadi, H.; Keshipour, S.; Ahour, F. New Water-Soluble Colorimetric pH and Metal Ion Sensor Based on Graphene Quantum Dot Modified with Alizarine Red S. *Scientific Reports*. 2020. 10, 14185.
11. Shalaby, A.A.; Mohamed, A.A. Determination of Acid Dissociation Constants of Alizarine Red S, Methyl Orange, Bromothymol Blue and Bromophenol Blue Using a Digital Camera. *RSC Advances*. 2020. 10,11311-11316.
12. Zhang, Y.; Liu, H.; Chen, X. Hydroxide Precipitation Behavior of Pb (II) in Aqueous Solution and its Environmental Implications. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2021. 9(5), 106087.
13. Supian, S.M.; Ling, T.L.; Heng, L.Y.;Chong, K.F. Quantitative Determination of Al (III) Ion by Using Alizarine Red S Including its Microspheres Optical Sensing Material. *Analytical Methods*. 2013. 5, 681-686.
14. Cahyadi, D.; Susilowati, E.; Arsyansyah, M.; Hadiwijaya., Darmana, O.A.; Manola, W.K.; Desiana, R. Validasi Metoda Pengujian Kandungan Kalsium, Magnesium, dan Seng dalam Pelumas dengan Serapan Atom (SSA) Menggunakan Teknik Pelarutan Lamgsung Oleh Xilena. *Jurnal Standarisasi*. 2021. 23(1).
15. Rahman, N.; Afaq, N. Optimization and Validation of Spectrofluorimetric Method for the Determination of Clomipramine Hydrochloride Via Ion-Pair Complexation with Alizarine Red S. *Analytical Methods*. 2010. 2, 513-518.
16. AOAC International. *Guidelines for Standard Method Performance Requirements*. AOAC International. 2019.
17. Shrivastava, A.; Gupta, V.V. Methods for the Determination of limit of Dtection and Limit of Quantitation of the Analytical Methods. *Journal of Advanced Scientific Research*. 2011. 2(1), 21-25.
18. Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia. Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 9 Tahun 2022 tentang Persyaratan Cemaran Logam Berat dalam Pangan Olahan. *BPOM RI*. 2022.