

STUDI KHELASI LOGAM TIMBAL (Pb) PADA SAMPEL AIR MENGUNAKAN ASAM SITRAT

**Muhammad Ridwan Septiawan^{a,*}, Isran Asnawi^a, Fachrur Razy Rahman^a,
Ahmad Ramadhan^a**

^aProgram Studi Teknik Kimia Mineral-Politeknik Industri Logam Morowali
Jl. Trans Sulawesi, Kabupaten Morowali Sulawesi Tengah 94974

*E-mail: septiawanridwan732@gmail.com

Masuk Tanggal : 6 Januari , revisi tanggal: 6 Juni, diterima untuk diterbitkan tanggal : 30 Juni 2023

Abstrak

Salah satu unsur penting dalam kehidupan adalah air, namun saat ini tingkat pencemaran air semakin meningkat. Logam Pb atau timbal merupakan salah satu logam berat yang berbahaya yang sering ditemukan dalam kasus pencemaran air. Pada penelitian ini, dilakukan serangkaian percobaan yang bertujuan untuk mempelajari pengaruh konsentrasi asam, waktu pencampuran, kecepatan pengadukan dan pengaruh logam lain terhadap proses khelasi penurunan konsentrasi logam Pb dalam air. Sampel air yang digunakan adalah larutan Pb yang dibuat dengan menambahkan logam Pb ke dalam akuades. Proses khelasi logam Pb dilakukan dengan menambahkan larutan asam sitrat ke dalam larutan Pb dengan variasi konsentrasi 15%, 25%, 35%, 45% kemudian diaduk dengan variasi waktu pencampuran 15, 30, 45, 60 menit dan variasi kecepatan pengadukan 50, 100, 150, 200 rpm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses khelasi menggunakan asam sitrat dapat menurunkan konsentrasi logam Pb pada sampel air hingga 96,82% untuk sampel air yang hanya ditambahkan logam Pb dan 84,14% untuk sampel air yang ditambahkan logam lain. Hasil ini diperoleh pada sampel air yang ditambahkan asam sitrat konsentrasi 45% dengan waktu pencampuran 60 menit dan kecepatan pengadukan 200 rpm. Semakin tinggi konsentrasi asam sitrat, semakin lama waktu pencampuran dan semakin cepat pengadukannya maka semakin besar penurunan Pb dalam sampel air. Keberadaan logam lain juga mempengaruhi proses khelasi Pb dimana keberadaan logam lain akan mengganggu proses khelasi logam Pb sehingga menurunkan selektivitas dan keefektifan khelasi logam Pb dalam sampel air.

Kata Kunci: Logam Pb, Asam Sitrat, Khelasi, Spektrofotometer UV-Vis

Abstract

One of the essential components of life is water, however the amount of water pollution is now rising. A dangerous heavy metal called lead, often known as Pb metal, is frequently discovered in cases of water pollution. In this study, a series of experiments were conducted with the aim of studying the effect of acid content, mixing time, stirring speed, and the effect of other metals on the chelation reduction of Pb content in water. The water sample that was used was created by mixing distilled water with Pb metal as Pb solution. The Pb metal chelation method involved adding citric acid solution to the Pb solution at different concentrations of 15%, 25%, 35%, and 45%. After that, the mixture was stirred for different amounts of time 15, 30, 45, or 60 minutes and at different stirring speeds 50, 100, 150, and 200 rpm. The results showed that the chelation process using citric acid could reduce the content of Pb metal in water samples by up to 96.82% for water samples with only added Pb metal and 84.14% for water samples with other metals added. These results were obtained in water samples that had been added 45% with citric content, mixed for 60 minutes and stirred at 200 rpm. The amount of Pb in the artificial wastewater samples decreased more significantly with increasing citric acid content, longer mixing times, and faster stirring. The Pb chelation process is also influenced by the presence of other metals, which interfere with the Pb metal chelation process and reduce the amounts of Pb metal in water samples.

Keywords: Pb Metal, Citric Acid, Chelation, UV-Vis Spectrophotometer

1. PENDAHULUAN

Air merupakan sumber kehidupan utama masyarakat sehingga sangat penting untuk memiliki akses terhadap sumber air bersih yang memenuhi standar. Di Indonesia, air permukaan, air tanah, dan air hujan merupakan sumber utama air minum [1]. Saat ini air telah banyak tercemar oleh berbagai komponen polutan dari berbagai sumber seperti limbah domestik, industri, pertanian, perikanan, transportasi, dan sebagainya. Salah satu logam berat yang dapat mencemari air sehingga menurunkan dan merusak kualitas lingkungan adalah logam timbal (Pb). Logam timbal (Pb) umumnya digunakan untuk membuat baterai, solder, amunisi, selimut kabel, pipa, dempul, dan pigmen [2].

Logam berat timbal (Pb) tidak boleh terakumulasi dalam tubuh makhluk hidup meskipun dalam jumlah yang sangat kecil, hal ini karena sifatnya yang sangat toksik atau beracun. Kehadiran timbal dalam tubuh manusia dapat mengakibatkan sejumlah masalah kesehatan seperti anemia, penurunan kadar hemoglobin dan penurunan kualitas sperma pada pria [3]. Menurut peraturan pemerintah nomor 32 tahun 2017 tentang standar baku mutu kesehatan lingkungan dan persyaratan kesehatan air, konsentrasi logam Pb dalam air untuk kegiatan sehari-hari adalah 0,5 mg/L [4].

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menurunkan konsentrasi logam Pb dalam air adalah khelasi. Metode khelasi adalah metode pengikatan suatu logam dengan ligan yang akan membentuk kompleks sehingga logam yang terikat akan kehilangan sifat-sifat ionnya. Proses pengikatan logam atau khelasi adalah proses keseimbangan pembentukan ion kompleks logam dengan senyawa pengkelat. Prinsip dari metode khelasi ini yaitu menambahkan senyawa yang dapat mengikat logam dalam bentuk ikatan kompleks ke dalam air tercemar sehingga dapat mengalahkan sifat dan pengaruh jelek logam dalam air yang tercemar tersebut [5][6].

Pada penelitian ini, dilakukan proses penurunan konsentrasi timbal dalam sampel air menggunakan metode khelasi. Metode khelasi dipilih karena metode ini merupakan metode tambahan yang efektif untuk menurunkan konsentrasi logam berbahaya dalam air. Prinsip dari metode ini sederhana yaitu dengan menambahkan senyawa pengkelat atau senyawa kompleks ke dalam air yang tercemar oleh logam Pb, kemudian senyawa ini akan mengikat logam Pb tersebut sehingga dapat mengurangi konsentrasi Pb dalam air tersebut [7]. Senyawa pengkelat yang digunakan

pada penelitian adalah asam sitrat. Asam ini dipilih karena asam sitrat efektif dalam menurunkan logam berat Pb dalam air [8]. Beberapa variabel yang diamati pada penelitian ini adalah pengaruh konsentrasi asam sitrat, waktu pengadukan, waktu pencampuran dan pengaruh keberadaan unsur logam lain.

2. PROSEDUR PERCOBAAN

Sampel air yang digunakan pada penelitian adalah sampel air yang dibuat dengan melarutkan padatan logam Pb ke dalam akuades sehingga diperoleh larutan timbal dengan berbagai konsentrasi (0,5, 1, 3, 5, 7, 9 dan 10 ppm). Untuk melihat pengaruh logam lain terhadap proses khelasi logam Pb, maka ditambahkan beberapa padatan logam lain seperti CuSO_4 , CaSO_4 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, MgSO_4 , dengan perbandingan konsentrasi terhadap logam Pb berturut-turut yaitu 1:8:0,004:3.

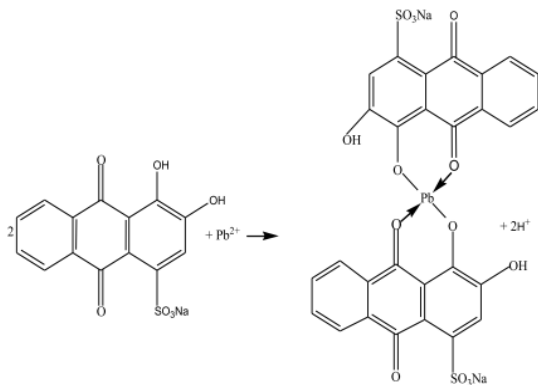
Proses khelasi logam Pb dilakukan dengan menambahkan larutan asam sitrat ke dalam larutan Pb dengan variasi konsentrasi 15%, 25%, 35%, 45% (w/v); waktu pencampuran 15, 30, 45, 60 menit dan kecepatan pengadukan 50, 100, 150, 200 rpm. Untuk mengukur sisa logam Pb dalam larutan setelah proses khelasi, dilakukan pengujian menggunakan spektrometer UV-VIs. Preparasi sampel uji dilakukan dengan menambahkan reagen pengompleks ARS (Alizarin Red Sulfonate) sebanyak 2 mL, kemudian NaOH 0,1 M untuk mengkondisikan pH menjadi 8, kemudian larutan buffer sebanyak 2 mL. Setelah itu, didiamkan selama 30 menit, lalu diukur absorbansinya pada panjang gelombang 563 nm.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kurva Kalibrasi

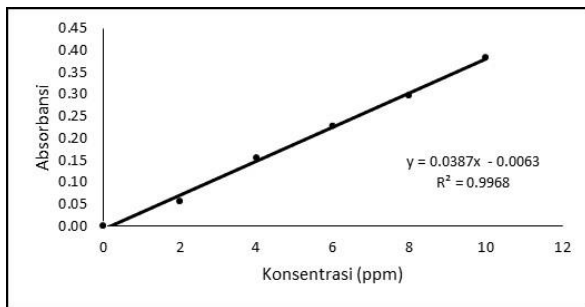
Percobaan diawali dengan pembuatan kurva kalibrasi logam Pb. Pembuatan kurva kalibrasi dilakukan dengan menggunakan larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ konsentrasi 2, 4, 6, 8 dan 10 ppm, dimana masing-masing larutan tersebut diambil sebanyak 20 mL, kemudian ditambahkan reagen pengompleks ARS sebanyak 2 mL. Pembentukan kompleks dengan ARS ditandai dengan perubahan warna larutan menjadi kuning dan pH larutan. pH larutan semakin meningkat ke pH 8 setelah dilakukan penambahan NaOH 0,1 M dan penambahan NaOH akan membuat warna larutan menjadi ungu. Warna ungu ini merupakan warna komplementer (warna yang terlihat) sehingga dapat diukur pada panjang gelombang 563 nm. Setelah diperoleh pH yang diinginkan, dilanjutkan dengan menambahkan 1 mL larutan buffer yang bertujuan untuk membuat kondisi pH tetap stabil. Larutan tersebut kemudian

didiamkan selama 30 menit agar terjadinya kestabilan kompleks Pb-ARS [9]. Reaksi pembentukan kompleks Pb-ARS dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Reaksi pembentukan Pb-ARS [5]

Berdasarkan hasil kurva yang didapat pada Gambar 2 menunjukkan bahwa nilai absorbansi yang dihasilkan berbanding lurus dengan peningkatan konsentrasi larutan $Pb(NO_3)_2$. Dari kurva kalibrasi tersebut didapatkan persamaan linier antara konsentrasi dan absorbansi yaitu $y = 0,0387x - 0,0063$ dengan nilai koefisien korelasi yaitu $r = 0,9968$. Berdasarkan hasil yang diperoleh nilai koefisien korelasi yang didapat telah memenuhi standar EPA yaitu $\geq 0,995$, dan juga memenuhi standar SNI yaitu $\geq 0,970$. Persamaan linear yang dihasilkan dapat digunakan untuk mencari konsentrasi Pb dalam sampel dengan memasukkan nilai absorbansi [10].

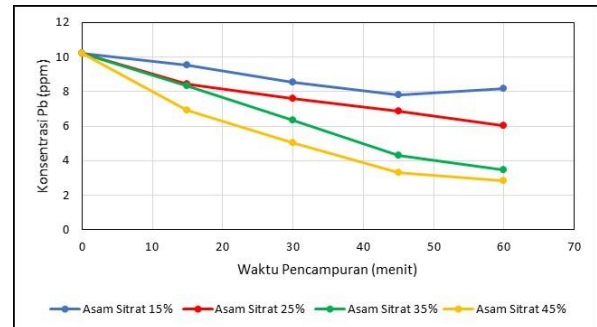


Gambar 2. Kurva kalibrasi standar Pb

3.2. Pengaruh Konsentrasi Asam Sitrat

Percobaan khelasi logam Pb dengan asam sitrat dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi asam sitrat 15%, 25%, 35%, dan 45%. Hasil percobaan pada Gambar 3 menunjukkan konsentrasi Pb di dalam sampel air terus menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi asam sitrat dan waktu pencampuran. konsentrasi Pb yang paling mengalami penurunan adalah sampel air yang di khelasi dengan asam sitrat dan diaduk dengan waktu 60 menit. Perlakuan khelasi ini mampu menurunkan konsentrasi Pb dari sampel awal 10 ppm menjadi 2,82 ppm. Peningkatan konsentrasi asam sitrat membuat proses khelasi

logam Pb di dalam air semakin baik. Seperti yang diketahui bahwa asam sitrat bertindak sebagai pengkelat logam Pb, jika semakin tinggi konsentrasi asam sitrat maka akan semakin banyak logam berat Pb yang terikat. Waktu pencampuran yang semakin lama juga akan membuat logam berat Pb akan semakin banyak terikat oleh pengkelatnya karena dengan semakin lamanya waktu pencampuran, kesempatan pengkelat semakin besar untuk mengikat logam berat Pb [3].



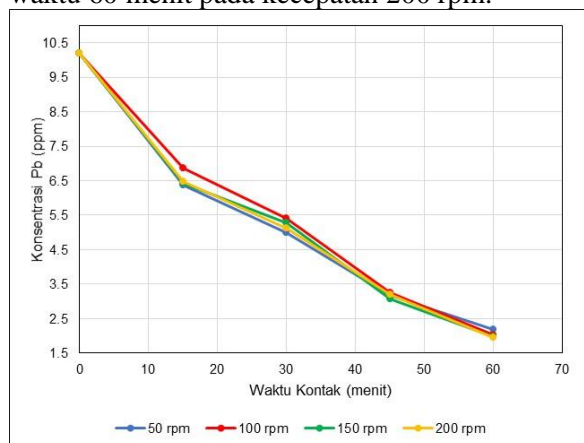
Gambar 3. Grafik hasil khelasi variasi konsentrasi asam sitrat dan waktu pencampuran

Secara struktur kimia, asam sitrat ($C_6H_8O_7$) merupakan asam trikarboksilat yang memiliki gugus karboksil ($COOH$) dan gugus hidroksil (OH) yang terikat pada atom karbon. Ketika asam sitrat dilarutkan, hidrogen pada gugus karboksil dan hidroksil akan lepas sehingga menghasilkan ion sitrat yang memiliki empat elektron bebas. Melalui ikatan koordinasi, 4 elektron bebas selanjutnya akan diberikan kepada ion logam Pb menyebabkan ion logam Pb akan berikatan dengan ion sitrat membentuk senyawa kompleks Pb-sitrat [11]. Terjadinya ikatan koordinasi antara ion sitrat dan ion logam Pb menyebabkan ion logam Pb akan kehilangan sifat ionnya sehingga sebagian besar sifat toksisitasnya juga akan hilang. Semakin lama pencampuran asam sitrat dengan logam Pb maka akan semakin banyak kompleks Pb-sitrat yang terbentuk sehingga konsentrasi Pb dalam sampel akan mengalami penurunan [12].

3.3. Pengaruh Waktu Pencampuran dan Kecepatan Pengadukan

Percobaan khelasi logam Pb variasi waktu pencampuran dilakukan pada variasi waktu 15, 30, 45, dan 60 menit dengan konsentrasi asam sitrat 45% (sesuai hasil terbaik percobaan sebelumnya). Kecepatan pengadukan dilakukan pada variasi pengadukan 50, 100, 150 dan 200 rpm. Gambar 4 menunjukkan terjadi penurunan konsentrasi Pb pada setiap penambahan waktu pencampuran dan kecepatan pengadukan. Pada waktu 15 menit penurunan konsentrasi Pb yang paling baik terjadi pada kecepatan pengadukan 50 rpm, pada waktu 30 menit pada kecepatan 100 rpm, pada waktu 45

menit terjadi pada kecepatan 150 rpm dan pada waktu 60 menit pada kecepatan 200 rpm.



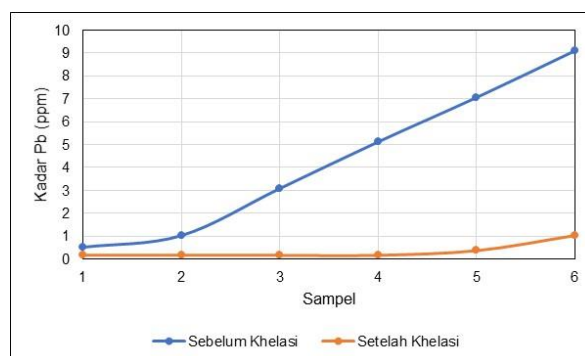
Gambar 4. Grafik hasil khelasi variasi waktu pencampuran dan kecepatan pengadukan

Pengadukan adalah suatu proses yang menciptakan terjadinya gerakan di dalam bahan yang diaduk. Tujuan utama pengadukan adalah terjadinya pencampuran (*mixing*). Pencampuran terjadi dengan cara menimbulkan gerak di dalam bahan yang menyebabkan bagian-bagian bahan saling bergerak satu terhadap yang lainnya [13]. Gambar 4, menunjukkan bahwa kandungan Pb dalam sampel air cenderung menurun seiring dengan meningkatnya kecepatan pengadukan. Jika dilihat dari keseluruhan data pada Gambar 4 kecepatan pengadukan 200 rpm lebih efektif dibandingkan dengan variasi kecepatan pengadukan lain, hal ini ditinjau dari waktu pencampuran 60 menit sebagai waktu pencampuran yang paling baik dalam perlakuan khelasi sebelumnya. Penurunan terbesar terdapat pada kecepatan putar 200 rpm dengan waktu pengadukan 60 menit yaitu sebesar 1,94 ppm dari sampel awal sebesar 10 ppm. Gambar tersebut juga menunjukkan semakin besar kecepatan pengadukan maka hasil penurunan logam berat timbal Pb semakin besar. Hal ini sesuai dengan teori, yaitu pengadukan yang cepat akan memperpendek jarak antar partikel sehingga gaya tarik menarik antar partikel menjadi lebih besar dan dominan dibandingkan dengan gaya tolaknya yang menghasilkan pencampuran dan tumbukan antar partikel yang lebih banyak dan lebih sering [14]. Sehingga pada percobaan ini, semakin besar kecepatan pengadukan, maka pencampuran Pb dan asam sitrat akan semakin banyak, sehingga penurunan Pb dalam sampel akan meningkat.

3.4. Pengaruh Konsentrasi Logam Pb

Untuk mempelajari lebih lanjut proses khelasi logam Pb oleh asam sitrat, pada penelitian ini dilakukan variasi konsentrasi Pb dalam sampel air dengan variasi konsentrasi 9, 7, 5, 3, 1 dan 0,5 ppm.

Pemilihan variasi konsentrasi ini diambil dengan merujuk pada penelitian Permanawati, dkk. [15] yang menunjukkan bahwa konsentrasi logam Pb dalam suatu lingkungan berada pada rentang konsentrasi tersebut. Sampel air yang telah dibuat kemudian di khelasi dengan konsentrasi asam sitrat 45%, selama 60 menit dengan kecepatan pengadukan 200 rpm. Grafik pada gambar 5 menunjukkan terjadinya penurunan kadar Pb pada setiap sampel secara berturut-turut yaitu 0,163, 0,163, 0,163, 0,163, 0,370, dan 1,041 ppm. Hasil ini menunjukkan bahwa asam sitrat secara efektif mampu melakukan proses khelasi pada logam Pb sehingga menurunkan kadar Pb dalam sampel air.



Gambar 5. Grafik hasil khelasi variasi konsentrasi Pb awal

3.5. Pengaruh Logam Lain

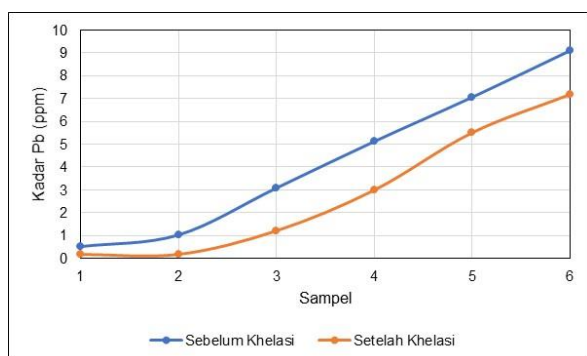
Untuk melihat selektifitas asam sitrat dalam proses khelasi logam Pb maka pada penelitian ini lebih lanjut dilakukan percobaan dengan menambahkan logam lain ke dalam larutan Pb. Sampel air yang telah dibuat sebelumnya dengan variasi konsentrasi logam Pb 9, 7, 5, 3, 1 dan 0,5 ppm ditambahkan logam lain dengan perbandingan logam Pb-Cu 1:1, Pb-Ca 1:8, Pb-Cr 1:0,004 dan Pb-Mg 1:3. Perbandingan ini diambil merujuk pada penelitian Permanawati, dkk. [11] dimana sampel logam Pb dilingkungan memiliki konsentrasi logam lain dengan perbandingan tersebut. Adapun hasil perbandingan konsentrasi logam Pb dengan logam lain tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data variasi konsentrasi sampel Pb dengan penambahan logam lain

Sampel	Konsentrasi Pb	Konsentrasi Cu	Konsentrasi Ca	Konsentrasi Cr	Konsentrasi Mg
1	0,5 ppm	0,5 ppm	4 ppm	0,002 ppm	1,5 ppm
2	1 ppm	1 ppm	8 ppm	0,004 ppm	3 ppm
3	3 ppm	3 ppm	24 ppm	0,012 ppm	9 ppm
4	5 ppm	5 ppm	40 ppm	0,020 ppm	15 ppm
5	7 ppm	7 ppm	56 ppm	0,028 ppm	21 ppm
6	9 ppm	9 ppm	72 ppm	0,036 ppm	27 ppm

Sampel air yang telah dicampurkan dengan logam lain kemudian di khelasi dengan asam sitrat konsentrasi 45% selama 60 menit dengan kecepatan pengadukan 200 rpm. Gambar 6 menunjukkan penurunan konsentrasi logam Pb pada setiap sampel. Semua sampel mengalami

penurunan berturut-turut yaitu 0,163, 0,163, 1,196, 2,979, 5,949, dan 7,165 ppm. Dari semua sampel, konsentrasi Pb mengalami penurunan namun tidak sebanyak penurunan pada sampel yang hanya mengandung logam Pb. Hasil ini menunjukkan bahwa proses khelasi asam sitrat terhadap logam Pb tidak selektif karena asam sitrat tidak hanya mengikat logam Pb, tetapi juga mengikat logam berat lainnya. Asam sitrat sendiri diketahui memiliki kemampuan untuk mengikat logam-logam berat bivalensi 2 (bivalen) [16] dan mampu melarutkan senyawa polar seperti garam anorganik dan gula, maupun senyawa non-polar seperti minyak dan unsur-unsur lain termasuk Pb [17].



Gambar 6. Hasil khelasi variasi penambahan logam lain

4. KESIMPULAN

Proses khelasi logam Pb menggunakan asam sitrat telah berhasil menurunkan konsentrasi logam Pb pada sampel air hingga 96,82% untuk sampel air yang hanya ditambahkan logam Pb dan 84,14% untuk sampel air yang ditambahkan logam lain. Hasil ini diperoleh pada sampel air yang ditambahkan asam sitrat konsentrasi 45% dengan waktu pencampuran 60 menit dan kecepatan pengadukan 200 rpm. Keberadaan logam lain (Cu, Ca, Cr dan Mg) juga mempengaruhi proses khelasi Pb dimana keberadaan logam lain akan menurunkan selektifitas dan keefektifan khelasi logam Pb dalam sampel air.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Program Studi Teknik Kimia Mineral Politeknik Industri Logam Morowali.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nora, Maksuk, and M. Amin, "Analisis Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb) pada Air Sumur Gali Masyarakat di Sekitar Tempat Pembuangan Akhir Sukawinatan," *Jurnal Sanitasi Lingkungan*, vol. 2, no. 2, pp. 79–84, Nov. 2022, doi: 10.36086/jsl.v2i2.877.
- [2] M. V. Lalandos, R. Akili, and J. Woodford, "Analisis Kandungan Timbal (Pb) pada Ikan yang Dijual di Pinggir Jalan Kecamatan Tomohon Utara Kota Tomohon Tahun 2021," *Jurnal KESMAS*, vol. 11, no. 4, pp. 59–66, Sep. 2022, Accessed: Jun. 05, 2023. [Online]. Available: <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/kesmas/article/view/41650>
- [3] D. Y. Pratiwi, "Dampak Pencemaran Logam Berat (Timbal, Tembaga, Merkuri, Kadmium, Krom) Terhadap Organisme Perairan Dan Kesehatan Manusia," *Jurnal Akuatek*, vol. 1, no. 1, pp. 59–65, Jun. 2020, Accessed: Jun. 05, 2023. [Online]. Available: <https://jurnal.unpad.ac.id/akuatek/article/view/28135/13485>
- [4] L. R. Odang, "Efektifitas Serbuk Biji Kelor Moringa oleifera Lamk. Dalam Menurunkan Kadar Timbal (Pb) Pada Air," Makassar, 2013.
- [5] C. Safitri, "Penurunan Kadar Pb Dan Cr Pada Limbah Cair Laboratorium Dengan Kombinasi Metode Elektrokoagulasi, Filtrasi Dan Pengkhelatan Logam Oleh Belimbing Wuluh (Averrhoa bilimbi)," Pekanbaru, 2014.
- [6] Yusbarina and Marlianis, "Penurunan Kadar Limbah Logam Timbal (Pb) Dengan Metode Khelasi Menggunakan Belimbing Wuluh (Averrhoa Bilimbi)," *Jurnal Photon*, vol. 4, no. 1, Apr. 2013, doi: 10.37859/jp.v4i1.163.
- [7] T. Marwati, M. S. Rusli, and E. Mulyono, "Pemucatan Minyak Daun Cengkeh Dengan Metode Khelasi Menggunakan Asam Sitrat," *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, vol. 17, no. 2, pp. 61–68, 2007, Accessed: Jun. 02, 2023. [Online]. Available: <https://journal.ipb.ac.id/index.php/jurnaltin/article/view/4220>
- [8] B. Anggraini, H. Widowati, and W. S. Sulistiani, "Pengaruh Perendaman Jenis Buah Terhadap Penurunan Kadar Kadmium (Cd) Pada Udang (Vanname Litopenaeusvannamei) Tambak Intensif Dekat dan Jauh Mangrove," *BIOLOVA*, vol. 2, no. 2, pp. 151–163, Aug. 2021, Accessed: Jun. 05, 2023. [Online]. Available: <https://scholar.ummetro.ac.id/index.php/biolovala/article/download/1110/556>
- [9] R. Aldinomera, L. Destiarti, and P. Ardiningsih, "Penentuan Kadar Timbal (II) Pada Air Sungai Kapuas Secara Spektrofotometri Ultra Violet-Visible,"

- Jurnal Kimia Khatulistiwa*, vol. 3, no. 1, pp. 1–6, 2014, Accessed: Jun. 03, 2023. [Online]. Available: <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jkkmipa/article/view/4752>
- [10] S. P. Afifah, “Validasi Metode Penetapan Kadar Asam Amino Hidroksiprolin Menggunakan Metode Spektrofotometri UV-Vis,” Jakarta, Sep. 2016.
- [11] T. Sastra Setiawan, F. Rachmadiarti, and Raharjo, “The Effectiveness of Various Types of Orange (Citrus Sp.) to the Reduction of Pb (Lead) and Cd (Cadmium) Heavy Metals Concentration on White Shrimp (*Panaeus Marguiensis*),” *Lentera Bio*, vol. 1, no. 1, pp. 35–40, 2012, doi: <https://doi.org/10.26740/lenterabio.v12n2>.
- [12] R. Trihardhini, “Pemanfaatan Daun Matoa (*Pometia pinnata*) Sebagai Adsorben Logam Timbal (Pb) Dalam Air Menggunakan Aktivator Asam Sitrat (C₆H₈O₇),” Yogyakarta, 2016. Accessed: Jun. 03, 2023. [Online]. Available: <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/2658>
- [13] I. Asnawi, D. P. Sari, and A. Malau, “Praktikum Satuan Operasi,” Morowali, 2022.
- [14] F. Nababan, Zultiniar, and S. Herman, “Pengaruh Variasi Kecepatan Pengadukan Terhadap Hasil Pada Pembuatan Asam Oksalat Dari Bahan Dasar Ampas Tebu,” *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik*, vol. 1, no. 2, 2014, Accessed: Jun. 03, 2023. [Online]. Available: <https://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFTEKNIK/article/view/4087>
- [15] Y. Permanawati, R. Zuraida, and A. Ibrahim, “Kandungan Logam Berat (Cu, Pb, Zn, Cd, and Cr) Dalam Air Dan Sedimen Di Perairan Teluk Jakarta,” *Jurnal Geologi Kelautan*, vol. 11, no. 1, pp. 9–16, 2013, Accessed: Jun. 03, 2023. [Online]. Available: <http://ejournal.mgi.esdm.go.id/ejournal/index.php/jgk/article/view/227>
- [16] S. Ulfah, F. Rachmadiarti, and Raharjo, “Upaya Penurunan Logam Berat Timbal pada *Mystus nigriceps* di Kali Surabaya Menggunakan Filtrat Kulit Nanas,” *LenteraBio*, vol. 3, no. 1, p. 103108, 2014, [Online]. Available: <http://ejournal.unesa.ac.id/index.php/lenterabio>
- [17] Nurmalasari and Zaenab, “Pemanfaatan Air Perasan Jeruk Nipis (*Citrus aurantifolia* swingle) dalam Menurunkan Kadar Logam Berat Pb yang Terkandung pada Daging Kerang,” *Higiene*, vol. 1, no. 3, pp. 168–174, 2015, Accessed: Jun. 03, 2023. [Online]. Available: <https://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/higiene/article/view/1744>