

OPTIMASI PENENTUAN LOGAM Pb PADA AIR LAUT BEKAS TAMBANG BAUKSIT MENGGUNAKAN METODE VOLTAMETRI STRIPPING ADSORPTIF

OPTIMIZATION OF DETERMINATION OF METAL Pb IN EX-BAUXITE MINING SEA WATER USING ADSORPTIVE STRIPPING VOLTAMETRIC METHOD

Hilfi Pardi*, Friska Septiani Silitonga, Dina Fitriyah, Eka Putra Ramdhani

Prodi Pendidikan Kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Maritim Raja Ali Haji,
Senggarang, Tanjungpinang 29111, Indonesia

*email korespondensi : hilfipardi@umrah.ac.id

Abstrak

Metode elektroanalitik sederhana dan sensitif dikembangkan untuk penentuan timbal dengan metoda voltametri stripping adsorptif (VSAD) dengan adanya *Calconcarboxylic Acid* (CCA). Tujuan penelitian adalah optimasi penentuan logam Pb pada air laut bekas tambang bauksit. Kompleks Pb-CCA terakumulasi pada permukaan elektroda drop merkuri gantung (HMDE) dan arus puncak diukur dengan metoda VSAD. Variabel eksperimen yang ditentukan adalah: pH, konsentrasi CCA; waktu akumulasi (t_{acc}); potensial akumulasi (E_{acc}), serta potensi gangguan, diselidiki. Kondisi optimum yang diperoleh: pH 3,4; CCA: 0,6 mol/L; t_{acc} : 60 detik; E_{acc} : 0,35 V; konsentrasi buffer 40 mmol, Pblinieritas 0,05–100 $\mu\text{g/L}$, dengan batas deteksi 0,01 $\mu\text{g/L}$. Simpangan baku relatif untuk larutan yang mengandung 10,0 $\mu\text{g/L}$ larutan Pb adalah 0,5% untuk sepuluh pengujian berturut-turut. Metode ini divalidasi dengan menentukan Pb dalam air laut bekas tambang bauksit pada tiga tempat di Pulau Bintang, Kepulauan Riau, Indonesia yaitu Galang Batang 6,23 $\mu\text{g/L}$, Wacopek 10,43 $\mu\text{g/L}$, Madong 5,44 $\mu\text{g/L}$ dan dibandingkan dengan metoda Spektrofotometri Serapan Atom (AAS), Galang Batang 5,89 $\mu\text{g/L}$, Wacopek 9,77 $\mu\text{g/L}$, 5,11 $\mu\text{g/L}$. Hasil penelitian menunjukkan metode VSAD berhasil diterapkan pada penentuan Pb dalam air laut bekas tambang bauksit.

Kata kunci: Calconcarboxylic Acid, elektroda drop merkuri gantung, Spektrofotometri Serapan Atom, voltametri stripping adsorptif.

Abstract

A simple and sensitive electroanalytical method was developed for the determination of lead using the adsorptive stripping voltammetry (VSAD) method in the presence of Calconcarboxylic Acid (CCA). The aim of this research is to optimize the determination of Pb in seawater ex-bauxite mining. The Pb-CCA complex accumulated on the surface of the hanging mercury drop electrode (HMDE) and the peak current was measured by the VSAD method. The experimental variables determined were: pH, CCA concentration; accumulation time (t_{acc}); accumulation potential (E_{acc}), as well as interference potential, were investigated. Optimum conditions obtained: pH 3.4; CCA: 0.6 mol/L; t_{acc} : 60 seconds; E_{acc} : 0.35 V; buffer concentration 40 mmol, linearity 0.05–100 $\mu\text{g/L}$, with a detection limit of 0.01 $\mu\text{g/L}$. The relative standard deviation for a solution containing 10.0 $\mu\text{g/L}$ Pb solution was 0.5% for ten consecutive tests. This method was validated by determining Pb in seawater from bauxite mining at three locations on Bintang Island, Riau Islands, Indonesia, namely Galang Batang 6.23 $\mu\text{g/L}$, Wacopek 10.43 $\mu\text{g/L}$, Madong 5.44 $\mu\text{g/L}$ and compared using the Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) method, Galang Batang 5.89 $\mu\text{g/L}$, Wacopek 9.77 $\mu\text{g/L}$, 5.11 $\mu\text{g/L}$. The results showed that the VSAD method was successfully applied to the determination of Pb in seawater ex-bauxite mining.

Keywords: Calconcarboxylic Acid, hanging mercury drop electrode, Atomic Absorption Spectrophotometry, adsorptive stripping voltammetry.

PENDAHULUAN

Timbal adalah polutan lingkungan yang ada di mana-mana tanpa fungsi biologis yang

diketahui yang memiliki toksisitas kimia yang kuat pada konsentrasi rendah. Hal ini dapat terjadi sebagai akibat dari industrialisasi dalam

produksi pigmen, pelapis anti korosi, peleburan timbal, paduan, dan baterai, menyebabkan gangguan signifikan di udara, debu, tanah, air, sedimen, makanan, dll. Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) dan Badan Perlindungan Lingkungan AS (EPA) telah menetapkan tingkat maksimum 50 dan 10 g/L Pb dalam air laut dan air minum (Kinuthia et al., 2020; Yong et al., 2017).

Anodic Stripping Voltammetry (ASV) telah lama dikenal sebagai teknik yang baik untuk analisis logam karena sensitivitasnya, instrumentasi yang relatif murah, dan kemampuan untuk penentuan multi-elemen (Ly et al., 2011; Marichamy & Ramalakshmi, 2013; Papp et al., 2011; Pokpas et al., 2014). *Mercury Film Electrode* (MFE) dan *Hanging Mercury Drop Electrode* (HMDE) telah digunakan secara tradisional untuk ASV karena sifat analitik merkuri yang menguntungkan dalam kisaran potensial negatif, namun dalam beberapa tahun terakhir sejumlah besar elektroda telah digunakan. Ferreira dkk. membuat studi perbandingan penentuan Pb dan ion logam lainnya dalam sampel yang memiliki salinitas tinggi menggunakan elektroda film merkuri dan elektroda film bismut, mencapai batas deteksi (LOD) dari 0,060 dan 0,10 g/L (Ferreira et al., n.d.). Berikut ini juga telah digunakan: elektroda film merkuri tipis (TMFE) (Al-ghamdi, 2014); elektroda nanotube karbon yang dimodifikasi bismuth (LOD: 1,3 g/L) (Honeychurch, 2013); film merkuri diendapkan pada elektroda pasta karbon yang diresapi lilin (LOD: 1,12 ng/L); elektroda pasta karbon yang dimodifikasi bubuk bismuth (LOD: 0,9 g/L); elektroda pasta karbon yang didoping zeolit yang dimodifikasi bismut (LOD: 0,10 g/L); grafit pensil sekali pakai sebagai substrat untuk BiFE (LOD: 0,4 g/L); nanotube karbon multiwall terdispersi dalam larutan Nafion dalam kombinasi dengan bismuth (LOD: 25 ng/L); titanium karbida (LOD: 0,4 g/L); cincin perak (LOD: 41 ng/L) dan elektroda screen-printed (LOD: 1,8 g/L) (Güell et al., 2008; Ly et al., 2011; Papp et al., 2011; Yilmaz et al., 2009).

Peningkatan sensitivitas yang diperoleh dengan metoda voltametri stripping adsorptif (VSAD), beberapa agen pengompleks telah dipelajari untuk kumpulan adsorpsi kompleks dengan Pb pada HMDE, di antaranya 2-acetylpyridine salicyloylhydrazone (LOD: 35ng/L); calcein biru (LOD: 8 ng/L); o-kresolftalein (LOD: 40 ng/L); 8-hidroksikuinol (LOD: 0,931 g/L dan 4 ng/L); xylenol (LOD: 6

ng/L dan 0,98 g/L); morin (LOD: 0,08 g/L). Catechol, 4-methylcatechol, 4-t-butylcatechol, dan resorcinol juga telah digunakan sebagai agen pengompleks untuk menentukan Pb dan ion logam lainnya (Abbasi et al., 2012; Al-ghamdi & Aouad, 2013; Deswati et al., 2017; Eiband et al., 2014; Koper & Grabarczyk, 2012; Morsi et al., 2011; Pardi et al., 2021; Pauliukaite et al., 2002; Silva et al., 2011).

Pada penelitian ini Metode VSAD menggunakan pengompleks *Calconcarboxylic Acid* (CCA) untuk menentukan logam Pb pada air laut bekas tambang bauksit berdasarkan pada pengurangan kompleks (Pb-CCA) setelah akumulasi pada permukaan elektroda HMDE.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah voltammeter (Methrom 797, pH meter (913 pH meter Metrohm, Switzerland), Atomic Absorption Spectrofotometer Skyray 6000 serta peralatan gelas yang biasa digunakan dilaboratorium.

Air yang digunakan untuk mencuci dan membuat larutan adalah akuabides Millipore. Semua bahan kimia (asam nitrat, asam klorida, peroksida, asam borat, asam asetat, dll.) adalah kelas analitis dari Merck (Darmstadt, Jerman). Larutan stok standar dengan 1,0 atau 0,1 mg/L Pb dibuat dari larutan standar Pb 1000 mg/L (Merck). *Calconcarboxylic Acid* (CCA) (Merck) dan disiapkan larutan standar dalam air atau metanol untuk analisis timbal. Larutan penyangga Britton-Robinson (Merck).

Prosedur Kerja

Persiapan sampel

Sembilan sampel air laut dari permukaan laut dikumpulkan yang diperoleh dari tiga lokasi yaitu Galang batang, Wacopek, Madong Pulau Bintan Provinsi Kepulauan Riau, Indonesia yang merupakan daerah bekas tambang bauksit. Sampel dikumpulkan dalam botol polietilen densitas tinggi yang telah dicuci dengan asam dan dibilas dengan akubides. Sebelum diisi sampel, botol dikondisikan tiga kali dengan air yang sama. Sampel air laut yang terkumpul disaring melalui filter membran polikarbonat 0,45 μm , diasamkan dengan HNO_3 sampai pH mendekati 2, dan disimpan sampai dianalisis. Untuk memastikan reabiliti metode sampel dianalisis dengan AAS.

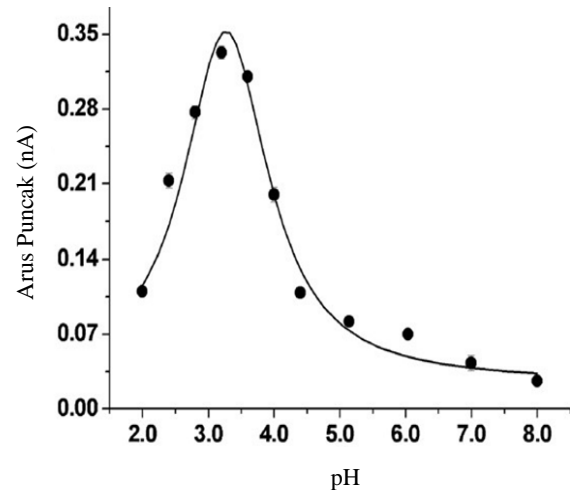
Prosedur voltammetrik

Pengukuran voltametri dilakukan dengan menggunakan prosedur berikut: 10,0 mL air deionisasi, 100 µL buffer Britton-Robinson (0,04 mol/L), 100–400 µL CCA (0,04 mmol/L), dan larutan standar Pb (0,1 mg/L) dipipet ke dalam vesel voltametri. Pengukuran dilakukan dengan ada dan tidak adanya CCA. Larutan dibersihkan dengan gas Nitrogen selama 5 menit. Kemudian, setelah melepaskan lima tetes, tetesan merkuri baru diekstrusi untuk memulai langkah prakonsentrasi, kemudian diberikan waktu akumulasi (t_{acc}) dan potensial akumulasi (E_{acc}) dengan kecepatan pengadukan 400 rpm. Setelah waktu ekuilibrasi 10 detik, voltamogram adsorpsi direkam, sedangkan potensial dipindai dari 0,25 hingga 0,6 V menggunakan modulasi gelombang persegi dengan amplitudo langkah 0,01 V, amplitudo pulsa 0,05 V, dan frekuensi 25 Hz. Kurva kalibrasi Digambar dan regresi linier serta batas deteksi dihitung. Semua data diperoleh pada suhu kamar ($\approx 25^\circ\text{C}$). Untuk analisis voltametri sampel air laut, 10,0 mL air laut bekas tambang bauksit yang diperoleh dari tiga lokasi di Pulau Bintan, Kepulauan Riau, Indonesia dipipet ke dalam vessel, 100 µL buffer Britton Robinson pH 3,2, dan larutan ligan (CCA) ditambahkan, dan penentuan dilakukan dengan metode standar adisi. Setiap voltamogram diulang tiga kali.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh variasi pH

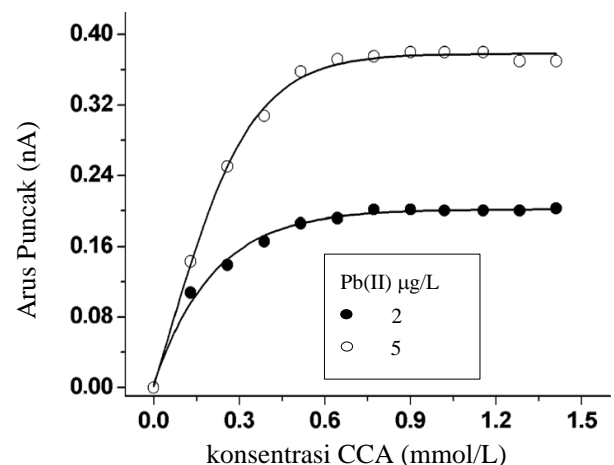
Pengaruh pH larutan pada arus puncak kompleks Pb-CCA dipelajari dalam kisaran 2,0–8,0. Untuk menjaga komposisi buffer konstan Ketika mempelajari pengaruh pH, buffer Britton Robinson (BR) digunakan (Gambar 1). CCA adalah 0,5 mmol/L (E_{acc} : 0,35 V, t_{acc} : 60 detik). Jelas bahwa arus puncak kompleks Pb-CCA maksimum pada pH 3,4 dan menurun dengan cepat pada nilai pH antara 4,0 dan 8,0. Pada pH 8,0 voltamogramnya sangat luas. Di sisi lain, potensial puncak adalah -0,47 V pada pH 2,0 dan -0,56 V pada pH 6,0. Muatan kompleks Pb-CCA pada nilai pH yang lebih tinggi berubah dan mungkin tidak teradsorpsi ke elektroda. Nilai pH 3,4 dipilih untuk keseluruhan penelitian. Sebuah studi sebagai fungsi konsentrasi buffer dilakukan dengan menambahkan larutan 0,04 mol/L buffer BR, mendapatkan arus puncak tertinggi dari kompleks Pb-CCA ketika 100 µL ditambahkan.



Gambar 1. Pengaruh pH pada arus puncak kompleks Pb-CCA. Kondisi: Pb, 10 µg/L; CCA: 0,5 mmol/L; t_{acc} : 60 detik; E_{acc} : 0,35 V; amplitudo langkah: 10 mV, amplitudo pulsa: 50 mV, dan frekuensi: 25 Hz.

Efek Calconcarboxylic Acid (CCA)

Konsentrasi pengompleks memiliki pengaruh yang cukup besar pada rentang linier dan sensitivitas metode. Efek dari CCA dipelajari untuk Pb pada tingkat 0,1 mmol/L sampai 1.5 mmol/L, sementara kondisi pengukuran standar lainnya tetap konstan (pH: 3,2; t_{acc} : 60 detik, E_{acc} : 0,35 V). Hasil penelitian menunjukkan bahwa arus puncak meningkat dengan meningkatnya konsentrasi CCA hingga 0,6 mmol/L (Gambar 2.). Lebih tinggi CCA, arus puncak cenderung mendatar. Oleh karena itu,



optimal CCA pada kondisi 0,5 mmol/L dipilih untuk studi optimasi lebih lanjut.

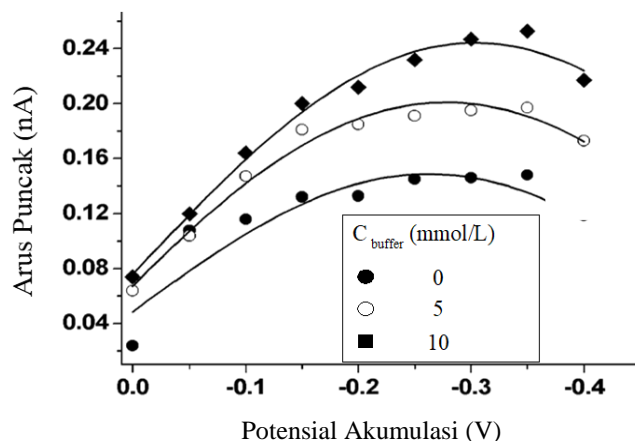
Gambar 2. Pengaruh konsentrasi CCA pada arus puncak kompleks Pb-CCA. Kondisi: Pb, 10 µg/L; pH: 3,4; t_{acc} : 60 detik; E_{acc} : 0,35 V; amplitudo langkah: 10 mV, amplitudo pulsa: 50 mV, dan frekuensi: 25 Hz.

Effect of accumulation time (t_{acc})

Waktu akumulasi adalah salah satu parameter penting yang memiliki efek nyata pada sensitivitas dalam prosedur pengupasan. Waktu akumulasi diperiksa dalam rentang 0–300 detik, sementara kondisi pengukuran standar lainnya tetap konstan (Pb, 10 $\mu\text{g/L}$; CCA, 0,6 mmol/L; pH: 3,4; E_{acc} : 0,35 V). Arus puncak meningkat dengan meningkatnya akumulasi sebelum pemindaian potensial, menunjukkan bahwa kompleks Pb-CCA mudah teradsorpsi pada HMDE. Arus puncak meningkat secara linier dengan meningkatnya waktu akumulasi hingga 300 detik dan tidak ada saturasi permukaan elektroda yang diamati. Namun, untuk waktu akumulasi yang lebih lama (di atas 180 detik) voltammogram kecil pada 0,62 V terlihat pada voltammogram adsorptive. Atas dasar itu, dan mempertimbangkan kecepatan pengukuran, t_{acc} 60 detik digunakan untuk studi lebih lanjut.

Pengaruh potensi akumulasi (E_{acc})

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3, arus puncak meningkat dengan perubahan potensial dari 0,00 menjadi 0,35 V. Namun, sedikit menurun ketika potensial diubah menjadi 0,40 V. Potensi akumulasi 0,35 V memberikan sensitivitas terbaik dan dipilih untuk studi. Nilai potensial yang lebih negatif menyebabkan elektrolisis Pb.

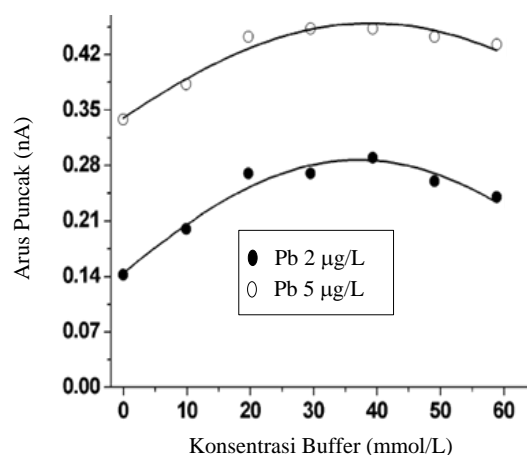


Gambar 3. Pengaruh E_{acc} pada arus puncak kompleks Pb-CCA, Kondisi: Pb, 10 $\mu\text{g/L}$; CCA: 0,6 mmol/L; pH 3,4; t_{acc} : 60 detik.

Pengaruh Konsentrasi Buffer

Pengaruh dari buffer dipelajari untuk Pb pada level 0,1 mmol/L samapai dengan 60 mmol/L, sementara kondisi pengukuran standar lainnya tetap konstan (pH: 3,4; CCA: 0,6 mmol/L, t_{acc} : 60 detik, E_{acc} : 0,35 V). Pengaruh dari buffer pada arus puncak kompleks Pb-CCA

disajikan dalam Gambar 4, yang menunjukkan bahwa arus puncak meningkat Ketika konsentrasi buffer meningkat dari 0,1 menjadi 10 mmol/L dan kemudian mencapai maksimum pada 20 mmol/L. Pada konsentrasi buffer 50–60 mmol/L arus puncak menurun secara perlahan. Pada pH 3,4 kompleks Pb-CCA bermuatan positif ($[\text{Pb}(\text{H}_4\text{L})^+]$) [40]. kompleks-buffer Pb yang bermuatan negatif dapat diadsorpsi pada permukaan elektroda merkuri dengan gaya tarik elektrostatik.



Gambar 4. Pengaruh dari buffer pada arus puncak kompleks Pb-MSA. Kondisi: (a) Pb, 2 $\mu\text{g/L}$, (b) Pb, 2 $\mu\text{g/L}$. pH 3,4; CCA: 0,60 mmol/L; E_{acc} : 0,35 V; t_{acc} : 60 detik.

Pengaruh variabel instrumental (frekuensi, potensial langkah, dan amplitudo)

Peningkatan linier arus puncak kompleks terlihat ketika ukuran tetesan merkuri bervariasi dari 0,25 hingga 1,25 mm², dan 0,75 mm² diadopsi sebagai optimal, dengan ukuran yang lebih besar tidak nyaman karena tetes merkuri jatuh lebih sering. Arus puncak kompleks Pb-CCA meningkat ketika frekuensi meningkat dari 25 menjadi 50 Hz.

Namun, pada frekuensi 50 Hz terjadi penurunan bentuk puncak dan latar belakang dan 25 Hz diadopsi sebagai optimal. Arus puncak meningkat secara linier dengan variasi potensial langkah dari 1 hingga 10 mV dan amplitudo pulsa dari 5 hingga 50 mV. 10 dan 50 mV diadopsi sebagai potensial langkah dan amplitudo pulsa, masing-masing.

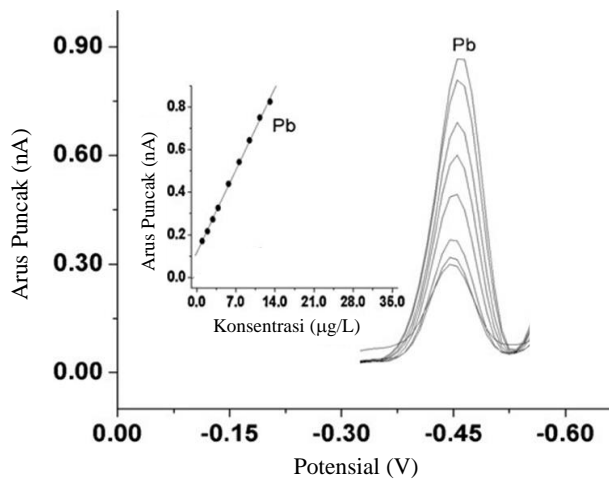
Parameter analitis

Grafik kalibrasi untuk penentuan Pb diperoleh menggunakan kondisi optimum. pH 3,4 ; CCA: 0,6 mmol/L; t_{acc} : 60 detik; E_{acc} : 3,50 V. jika CCA adalah 0,50 mmol/L Kurva serapan

Pb pada konsentrasi 0,1 sampai 10,0 µg/L menghasilkan plot kalibrasi linier ($r=0,9996$), tetapi jika CCA adalah 1,50 mmol/L plotnya linier sampai 32,0 mmol/L. Ketepatan yang dinyatakan sebagai deviasi standar relatif (RSD) adalah 0,5% untuk tujuh pengukuran berturut-turut dari sampel yang sama yang mengandung 10 µg/L Pb. Batas deteksi (LOD) yang dihasilkan yaitu 0,01 µg/L.

Studi interferensi dan validasi metode

Larutan standar 10 µg/L Pb terkontaminasi dengan larutan standar yang mengandung ion logam seperti Ag, Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, Ni, Zn, Pb dan lain-lain dalam jumlah yang sama. Konsentrasi, buffer dan CCA ditambahkan sampai puncak arus Pb-CCA mencapai maksimum sebelum analisis Pb dilakukan dengan metode adisi standar. Hasil yang diperoleh untuk Pb adalah $10,1 \pm 0,3$ µg/L (pH 3,4; CCA: 0,60 mmol/L, t_{acc} : 60 detik; E_{acc} : 0,35 V). Penggunaan metode ini juga dievaluasi dengan menentukan Pb dalam air standar bersertifikat yang mengandung Cd 0,100; Kr 0,500; Cu 1,00; 0,500; Pb 1,00, dan Zn 5,00 µg/g. Tiga kali ulangan dilakukan untuk setiap sampel. Nilai yang didapat adalah $10,08 \pm 0,10$ µg/g.



Gambar 5. Voltammogram larutan standar Pb. Kondisi: pH 3,4; CCA: 0,60 mmol/L; E_{acc} : 0,35 V; t_{acc} : 60 detik.

Analisis sampel

Metode yang VSAD diterapkan untuk mendeteksi Pb dalam air laut bekas tambang bauksit. Sampel diambil dari tiga titik di Pulau Bintang, Kepulauan Riau yaitu Galang batang, Wacopek, dan Madong. Analisis ini (sampel 10 mL) dilakukan dengan adanya buffer 20

mmol/L (pH 3,4; CCA: 0,60 mmol/L; t_{acc} : 60 detik; E_{acc} : 0,35 V). Untuk memeriksa keandalan metode sampel dianalisis dengan AAS, hasil yang diperoleh tidak jauh berbeda dengan metode VSAD (Tabel 1). Nilai tertinggi adalah $10,43 \pm 0,11$ µg/L Pb. Tempat sampel dikumpulkan merupakan Kawasan bekas tambang bauksit, namun kadarnya di bawah batas yang diusulkan oleh EPA [1].

Tabel 1. Penentuan timbal dalam sampel air laut

Sampel Air Laut	VSAD		AAS	
	Pb (µg/L)	SD	Pb (µg/L)	SD
Galang batang	6,23	0,12	5,89	0,14
Wacopek	10,43	0,11	9,77	0,12
Madong	5,44	0,15	5,11	0,11

KESIMPULAN

Metoda voltametri stripping adsorptive (VSAD) dalam penelitian ini memberikan hasil yang cukup bagus untuk penentuan logam Pb dalam tingkat konsentrasi runtu. Kompleks Pb-CCA terakumulasi pada permukaan elektroda drop merkuri gantung (HMDE) dan arus puncak diukur dengan metoda VSAD. Kompleks berkurang pada -0,46 V dan arus puncak meningkat ketika konsentrasi rendah CCA ditambahkan ke larutan sampel. Variabel eksperimen pH, konsentrasi CCA; waktu akumulasi (t_{acc}); potensial akumulasi (E_{acc}), serta potensi gangguan, diselidiki. Di bawah kondisi yang dioptimalkan (pH 3,4; CCA: 0,6 mol/L; t_{acc} : 60 detik; E_{acc} : 0,35 V; konsentrasi buffer 40 mmol), arus puncak sebanding dengan konsentrasi Pb selama 0,05–100 µg/L, dengan batas deteksi 0,01 µg/L. Simpangan baku relatif untuk larutan yang mengandung 10,0 µg/L larutan Pb adalah 0,5% untuk sepuluh pengujian berturut-turut. Metode ini divalidasi dengan menentukan Pb dalam air laut bekas tambang bauksit yang dibandingkan dengan metoda Spektrofotometri Serapan Atom (AAS). Metode VSAD berhasil diterapkan pada penentuan Pb dalam air laut bekas tambang bauksit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada DRTPM Kemendikbudristekdikti yang telah mendanai penelitian ini melalui skema Hibah Penelitian Dosen Pemula Tahun 2022 (Nomor

Kontrak Induk: 116/E5/PG.02.00.PT/2022, 10 Mei 2022; Nomor Kontrak Turunan: 05/DRTPM/PDP/I/2022, 11 Mei 2022).

DAFTAR RUJUKAN

- Abbasi, S., Khani, H., & Sahraei, R. (2012). *A Highly Sensitive Adsorptive Stripping Voltammetric Method for Simultaneous Determination of Lead and Vanadium in Foodstuffs*. 272–278. <https://doi.org/10.1007/s12161-011-9236-y>
- Al-ghamdi, A. F. (2014). Electrochemical determination of Cd²⁺ in some Al-Madinah water samples and human plasma by cathodic stripping voltammetry in the presence of oxine as a chelating agent. *Integrative Medicine Research*, 8(1), 19–25. <https://doi.org/10.1016/j.jtusci.2013.07.003>
- Al-ghamdi, A. F., & Aouad, M. R. (2013). *Electroanalytical Studies of New Non-Ionic 1, 2, 4-Triazole Surfactants and Their Determination at Working Mercury Electrode Using Voltammetric Techniques*. 8, 11248–11263.
- Deswati, Suyani, H., Rahmi, I., & Pardi, H. (2017). Application of central composite design optimization technique for determination of copper in fruit and vegetable samples with adsorptive stripping voltammetry in the presence of calcein. *Rasayan Journal of Chemistry*, 10(4), 1359–1367. <https://doi.org/10.7324/rjc.2017.1041810>
- Eiband, M. M. S. G., Trindade, K. C. D. A., Gama, K., Vieira, J., Melo, D., Martínez-huitle, C. A., & Ferro, S. (2014). Elimination of Pb²⁺ through electrocoagulation: Applicability of adsorptive stripping voltammetry for monitoring the lead concentration during its elimination. *Journal Of Electroanalytical Chemistry*, 717–718, 213–218. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2014.01.032>
- Ferreira, P., Fonte, E., Soares, M. E., Carvalho, F., & Guilhermino, L. (n.d.). Effects of multi-stressors on juveniles of the marine fish *Pomatoschistus microps*: gold nanoparticles, microplastics and temperature. *Aquat Toxicol*, 170, 89–103.
- Güell, R., Aragay, G., Fontàs, C., Anticó, E., & Mercoç, A. (2008). *Sensitive and stable monitoring of lead and cadmium in seawater using screen-printed electrode and electrochemical stripping analysis*. 7, 219–224. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2008.08.017>
- Honeychurch, K. C. (2013). *Recent Developments in the Stripping Voltammetric Determination of Indium*. 1(1), 8–13. <https://doi.org/10.12691/wjac-1-1-2>
- Kinuthia, G. K., Ngure, V., Beti, D., Lugalia, R., Wangila, A., & Kamau, L. (2020). Levels of heavy metals in wastewater and soil samples from open drainage channels in Nairobi, Kenya: community health implication. *Scientific Reports*, 10(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-65359-5>
- Koper, A., & Grabarczyk, M. (2012). Simultaneous voltammetric determination of trace bismuth (III) and cadmium (II) in water samples by adsorptive stripping voltammetry in the presence of cupferron. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 681, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2012.05.020>
- Ly, S. Y., Sung, D. Y., & Wang, H. J. (2011). *Analytical & Bioanalytical Trace Assay for In-vivo Tissue Using a Fluorine-Doped Graphite Sensor*. 7, 1–3. <https://doi.org/10.4172/2155-9872.S7-001>
- Marichamy, B., & Ramalakshmi, N. (2013). *International Journal of Chemical Studies Heavy Metal ions Detection in real samples by using 4hydroquinone Wax Impregnated Graphite Electrode*. 1(3), 142–149.
- Morsi, M. A., Hilmy, A. M. A., Etman, H. A., Ouf, A. M. A., & Elghalban, M. G. (2011). *Determination of Lead by Square Wave Adsorptive Stripping Voltammetry Using Ammonium Pyrrolidine Dithiocarbamate*. 7(6), 1173–1179.
- Papp, Z., Guzsány, V., Švancara, I., & Vyt, K. (2011). *Carbon Paste Electrodes for the Analysis of Some Agricultural Pollutants and Trace Metals*. 5(1).
- Pardi, H., Silitonga, F. S., Ramdhani, E. P., & Fitriyah, D. (2021). Voltammetric Study for Determination of Non-essential Metal Cd(II) in water samples (River and Sea) using Eriochrome Blue Black R as Complexing. *E3S Web of Conferences*, 324, 01001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132401>

001

- Pauliukaite, R., Metelka, R., Ivan, Š., Królicka, A., Bobrowski, A., Vyt, K., Norkus, E., & Kalcher, K. (2002). *Carbon paste electrodes modified with Bi₂O₃ as sensors for the determination of Cd and Pb*. 1155–1158. <https://doi.org/10.1007/s00216-002-1569-3>
- Pokpas, K., Jahed, N., Tovide, O., Baker, P. G., & Iwuoha, E. I. (2014). *Nafion-Graphene Nanocomposite in situ Plated Bismuth-film Electrodes on Pencil Graphite Substrates for the Determination of Trace Heavy Metals by Anodic Stripping Voltammetry*. 9, 5092–5115.
- Silva, D. H., Costa, D. A., Takeuchi, R. M., & Santos, A. L. (2011). *Fast and Simultaneous Determination of Pb²⁺ and Cu²⁺ in Water Samples using a Solid Paraffin-Based Carbon Paste Electrode Chemically Modified with 2-Aminothiazole-Silica-Gel*. 22(9), 1727–1735.
- Yilmaz, S., Yagmur, S., Saglikoglu, G., & Sadikoglu, M. (2009). *Direct Determination of Zn Heavy Metal in Tap Water of Canakkale (TURKEY) by Anodic Stripping Voltammetry Technique*. 4, 288–294.
- Yong, W. T. L., Chin, J. Y. Y., Thien, V. Y., & Yasir, S. (2017). *Heavy metal accumulation in field cultured and tissue cultured Kappaphycus alvarezii and Gracilaria changii*. *International Food Research Journal*, 24(3), 970–975.