

DETEKSI ION LOGAM Cu^{2+} MENGGUNAKAN *PENCIL LEAD ELECTRODE* TERMODIFIKASI EMAS DENGAN METODE VOLTAMETRI

Muhammad Luthfi Arrasy¹, Trisna Kumara Sari², Alizar³, Riga⁴ 1-

⁴Departemen kimia, Universitas Negeri Padang

*Corresponding author.

*Email: trisna.kumala.s@fmipa.unp.ac.id

Abstrak

Cu^{2+} terdeteksi secara elektrokimia menggunakan elektroda *Pencil Lead* yang dimodifikasi dengan *Gold Thin Layer*. Modifikasi Au pada PLE dilakukan dengan metode elektrodeposisi menggunakan teknik voltametri siklik. Penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan sensor Cu^{2+} menggunakan Au PLE dan menentukan kondisi optimum dalam pendeteksian Cu^{2+} . Hasil penelitian menunjukkan bahwa modifikasi elektroda *Pencil Lead* menggunakan *Gold Thin Layer* memberikan aktivitas katalitik yang lebih baik dibandingkan dengan elektroda *Pencil lead* non modifikasi dengan larutan HNO_3 sebagai elektrolit pendukung pada pH 1, menghasilkan kurva kalibrasi dengan koefisien korelasi (R^2) sebesar 0,9843 dan batas limit deteksi (LOD) sebesar 0,19 mM.

Kata kunci : ion Cu^{2+} , *Pencil Lead Electrode*, *Gold Thin Layer*, *Cyclic Voltammetry*

Abstract

Cu^{2+} was electrochemically detected using a *Pencil Lead Electrode (PLE)* modified with a *Gold Thin Layer*. The Au modification on the PLE was performed through electrodeposition using the cyclic voltammetry technique. This research was conducted to develop a Cu^{2+} sensor using Au-modified PLE and to determine the optimal conditions for Cu^{2+} detection. The results showed that the modification of the *Pencil Lead Electrode* with a *Gold Thin Layer* provided better catalytic activity compared to the unmodified *Pencil Lead Electrode*, using HNO_3 as the supporting electrolyte at pH 1, a calibration curve was obtained with a correlation coefficient (R^2) of 0.9843 and a detection limit (LOD) of 0.19 mM.

Keywords : ion Cu^{2+} , *Pencil Lead Electrode*, *Gold Thin Layer*, *Cyclic Voltammetry*

Pendahuluan

Perkembangan industri kimia semakin pesat sehingga limbah yang dihasilkan meningkat, hal tersebut memberikan dampak negatif bagi lingkungan. Menurut kementerian lingkungan hidup dan kehutanan (LHK), Indonesia mempunyai 140 sungai dari 34 provinsi serta sebesar 73,24% Sungai tersebut dalam status tercemar (KLHK, 2020).

Salah satu polutan kimia diperairan yaitu tembaga (Cu), Cu merupakan limbah logam berat yang memiliki toksisitas yang tinggi (Mursidi, 2001). Sebagian besar paparan Cu^{2+} yang terjadi umumnya melalui makanan dan air minum. Dampak

kesehatan pada manusia jika terpapar ion logam Cu^{2+} yaitu diare, muntah, gangguan system saraf, hingga gangguan peredaran darah (Agristiyani dkk., 2022). Sehingga dibutuhkan teknik analisa dalam pendeteksian ion Cu^{2+} ini agar tidak melebihi ambang batas yang ditetapkan. Badan Perlindungan Lingkungan Amerika Serikat (USEPA) telah menetapkan batas atas yang direkomendasikan untuk Cu^{2+} dalam limbah industri sebesar 1,3 mg/L (Shawabkeh dkk., 2004).

Ada beberapa teknik analisa yang digunakan untuk deteksi logam Cu^{2+} yaitu spektroskopi serapan atom (Handes dkk., 2021), spektrofotometri UV Visible (Setiawan dkk., 2019) dan High Performance Liquid Chromatography (HPLC) (Khabibi dkk., 2021). Akan tetapi metode tersebut memiliki waktu persiapan sampel yang lama, ukuran instrumen yang besar, biaya yang mahal, sehingga membuatnya tidak praktis untuk deteksi logam berat (Agristiyani dkk., 2022). elektrokimia menawarkan metode yang lebih sederhana, biaya operasional yang rendah sehingga lebih ekonomis. Kemunculan metode ini telah menunjukkan respon yang baik dan sangat menjanjikan untuk pendekatan analitik (Sari dkk., 2021).

Pada penelitian ini menggunakan Pencil Lead Electrode sebagai elektroda kerja. Pencil lead electrode memiliki banyak keunggulan sebagai elektroda yaitu memiliki reaktivitas elektrokimia yang tinggi, konduktor yang baik, biaya yang terjangkau dan arus background yang rendah. Namun PLE juga memiliki kekurangan dan batasan dalam sensitivitas elektrokatalitik (David dkk., 2017). Oleh karena itu dilakukan modifikasi untuk peningkatan kesensitifannya dengan gold thin layer. Keuntungan modifikasi gold thin layer dapat meningkatkan transfer muatan analit antara permukaan elektroda dan analit berbasis karbon dan dapat meningkatkan sifat elektrokatalitik elektroda (Biosensor, 2019).

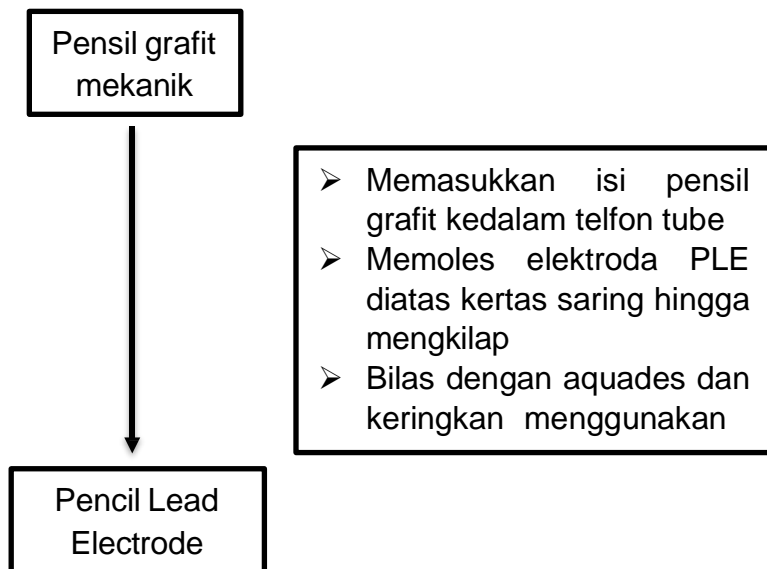
Penelitian ini merupakan penelitian pertama yang dilakukan mengenai deteksi ion logam Cu^{2+} menggunakan PLE yang dimodifikasi gold thin layer.

Metode

1. Preparasi PLE dan PLE modifikasi lapisan tipis emas (Au/PLE)

Pencil Lead Electrode dibuat dengan memasukkan batang pensil berdiameter 0,9 mm kedalam tabung teflon berdiameter 1 mm, lalu permukaannya dipoles di atas kertas saring sampai mengkilap, kemudian bilas menggunakan aquadest dan

dikeringkan, lalu elektroda pensil dimodifikasi dengan lapisan tipis emas secara elektrodeposisi dalam larutan 50 μM $\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ dan 0,1 M KCl. Potensial pada elektroda diterapkan dari 1,2 V sampai 0 V dengan scan rate 100 mV/s sebanyak 1 cycle (Sari dkk., 2021).



Penggunaan PLE dalam teknik voltametri

Metode	Analit	Limit deteksi (μM)	Referensi
<i>Differential pulse anodic stripping voltammetry</i>	Insulin	18,6	(Prasad dkk., 2010)
Voltametri pulsa diferensial	Fe(III)	1,09	(Muharami dkk., 2019)
<i>Cyclic voltammetry</i>	Cr(VI)	2,3	(Kumala Sari dkk., 2021)

2. Perbandingan Elektroda PLE dan Au/PLE dalam deteksi ion logam Cu^{2+}

Analisis kesensitifan dari PLE dan Au/PLE sebagai elektroda kerja dilakukan dengan mengisi 5 mL HNO_3 0,1 M sebagai supporting electrolyte ke dalam sel elektrokimia dan 0,05 mM larutan $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ dengan rentang potensial 0,6 V hingga 0,4 V dan scan rate 100 mVs⁻¹, kemudian akan diperoleh voltammogram siklik pada pengukuran elektroda PLE dan Au/PLE.

3. Optimasi Pengukuran Elektrokimia

A. Variasi supporting electrolyte

Pengukuran Supporting electrolyte dilakukan dengan memvariasikan Supporting electrolyte Buffer asetat, Buffer phosphate, dan HNO_3 secara bergantian. Analisis dilakukan pada rentang potensial 0,8 V sampai -0,6 V dengan scan rate 100 mV/s (Kumala Sari dkk., 2021).

B. Variasi pH supporting electrolyte

Masukkan 0,5 mL larutan Cu^{2+} 0,01M kedalam sel elektrokimia dan 5mL larutan supporting electrolyte paling optimum. Dalam pH asam diuji dari pH 1-3, sedangkan pada pH basa diuji dari pH 11-13. Variasi pH dilakukan menggunakan supporting electrolyte dengan pengukuran optimum dilakukan pada rentang potensial 0,4 V sampai -0,2 V dengan scan rate 50mV/s.

C. Kurva Kalibrasi

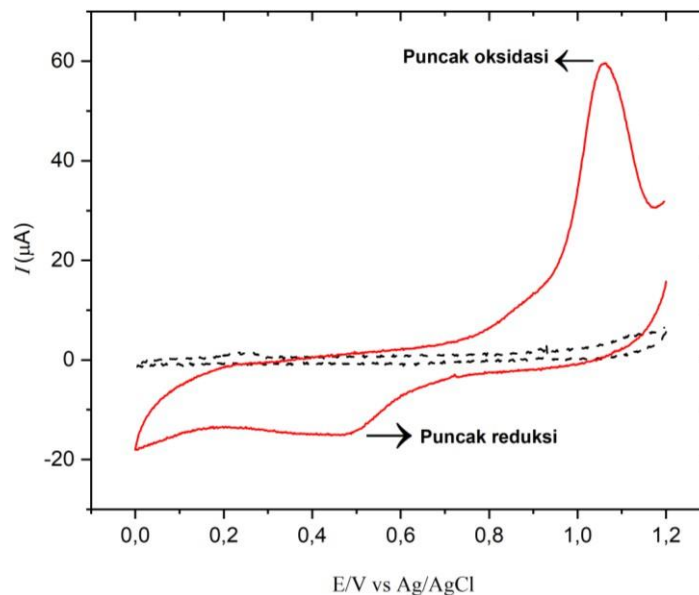
Pada penentuan konsentrasi dan kurva kalibrasi dibuat dengan kondisi optimum Cu^{2+} dideteksi secara kuantitatif dengan konsentrasi Cu yang berbeda yaitu 0.0 mM, 0.2 mM, 0.4 mM, 0.6 mM, 0.8 mM, 1.0 mM, 1.2 mM, dan 1.4 mM. Potensial diatur pada rentang 0,6 V sampai -0,2 V dengan scan rate 50 mV/s.

Hasil dan Pembahasan

1. Modifikasi PLE dengan *Gold Thin Layer* dengan metode elektrodeposisi

Gambar 1 merupakan voltammogram elektrodeposisi dari 50 μM HAuCl_4 dalam 0,1 M KCl pada permukaan PLE menggunakan metode voltametri siklik pada potensial

0 sampai 1.2 V dan scan rate 100 mV/s. Potensial puncak reduksi terukur pada 0.47 V dan potensial puncak oksidasi terukur pada 1.06 V terhadap Ag/AgCl. Munculnya puncak reduksi dan oksidasi pada voltammogram menunjukkan bahwa elektrodeposisi emas pada permukaan PLE berhasil dilakukan(Kumala Sari dkk., 2021)



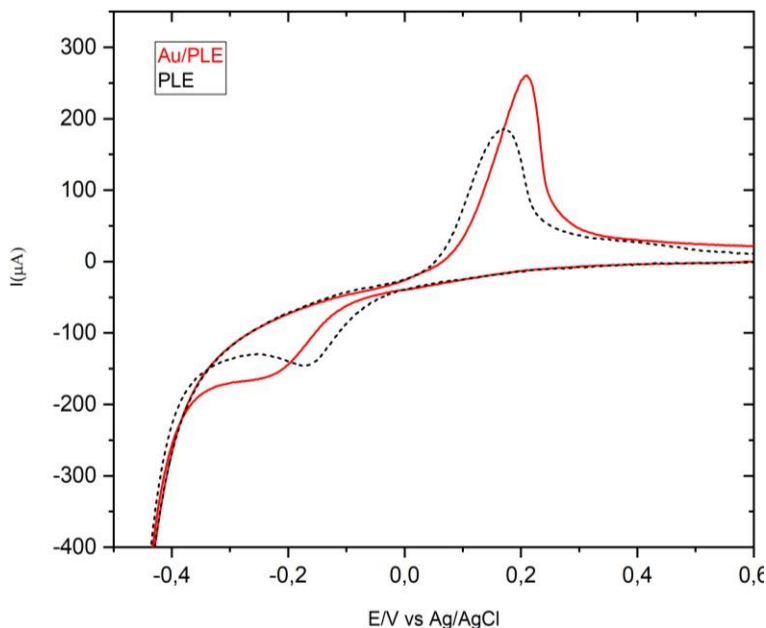
Gambar 1. Voltammogram siklik modifikasi PLE dalam larutan 50 μ M HauCl_4 dan 0,1M KCl dengan scan rate 100mV/s

Proses reduksi-oksidasi yang terjadi pada permukaan elektroda menunjukkan bahwa Au telah terdeposisi pada permukaan PLE

- I. Puncak Reduksi : $\text{AuCl}_4^- + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Au} + 4\text{Cl}^-$
- II. Puncak Oksidasi: $\text{Au} + 4\text{Cl}^- \rightarrow \text{AuCl}_4^- + 3\text{e}^-$

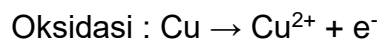
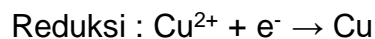
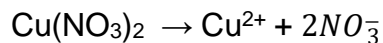
2. Karakterisasi Elektrokimia Elektroda PLE dan Elektroda Modifikasi Au/PLE dengan Metode Voltametri Siklik (CV) Terhadap Ion Logam Cu^{2+}

Analisis voltametri siklik pada larutan uji $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ diukur dengan membandingkan elektroda kerja PLE dan Au/PLE dalam larutan uji 0,1 M HNO_3 dan 1 mM $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ dengan scan potensial yang diterapkan dari 0,6 V hingga -0,5 V dan *scan rate* 100 mV/s.



Gambar 2. *Cyclic voltammogram* PLE dan Au/PLE dari ion logam Cu^{2+} dalam larutan 0,1 M HNO_3 dan 1 mM $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ dengan *scan rate* 100 mV/s.

Reaksi redoks yang terjadi pada elektroda adalah:

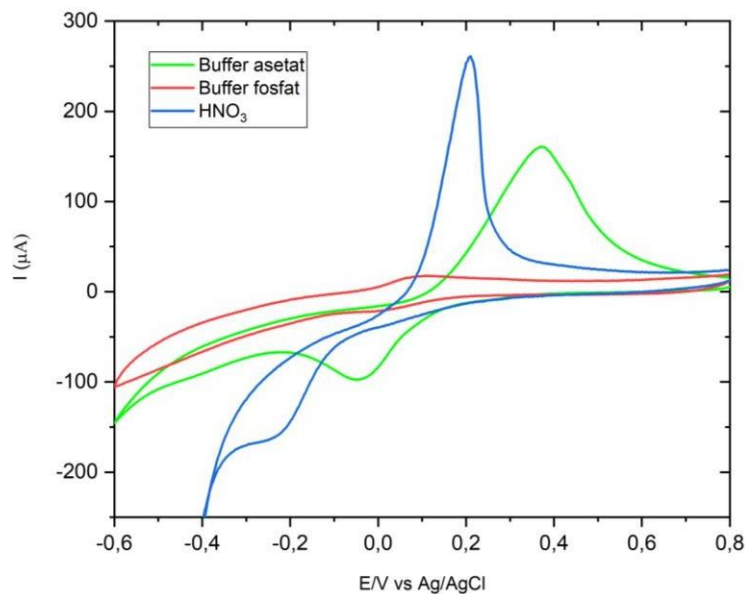


Berdasarkan gambar 3 voltamogram diatas elektroda PLE dan Au/PLE yang menunjukkan bahwa elektroda Au/PLE memberikan hasil yang lebih baik jika dibandingkan dengan elektroda PLE. Dimana arus puncak oksidasi dari kinerja Au/PLE menunjukkan hasil yang lebih sensitif dibandingkan dengan PLE. Hal ini dikarenakan adanya lapisan tipis Au yang terbentuk pada permukaan elektroda PLE yang dapat meningkatkan elektrokatalitik, sehingga sensitivitas elektroda pun meningkat (Sari dkk., 2021). Potensial reduksi dan oksidasi untuk elektroda PLE adalah -0.16 V dan 0.17 V, sedangkan untuk potensial reduksi dan oksidasi elektroda Au/PLE adalah -0.22 V dan 0.21 V. kuat arus reduksi dan oksidasi untuk elektroda PLE yaitu -144μA dan 186μA, lalu untuk kuat arus reduksi oksidasi elektroda Au/PLE yaitu -156μA dan 261μA.

3. Optimasi Pengukuran Elektrokimia

A. Pengaruh Varisi *Supporting Electrolyte* dalam Pendeteksian ion Cu^{2+}

Analisis voltametri siklik pada larutan uji $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ dilakukan dengan membandingkan larutan *supporting electrolyte* buffer fosfat pH7, buffer asetat pH 4 dan 0,1 M HNO_3 dengan potensial dari 0,8 V hingga -0,6 V.

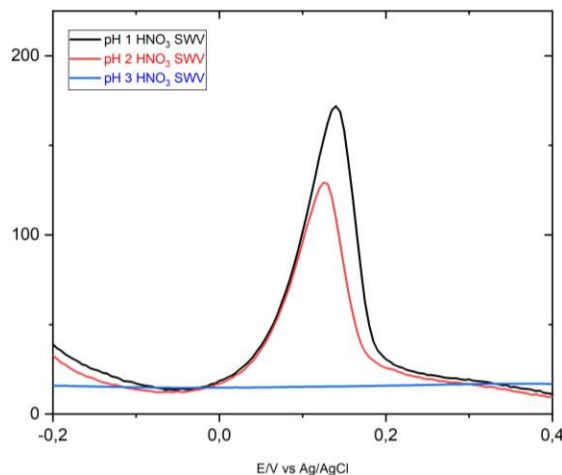


Gambar 3. Cyclic voltammograms dari Au/PLE dalam 5mL variasi *supporting electrolyte* buffer fosfat pH 7, buffer asetat pH 4, HNO_3 0.1M dengan Scan rate 50 mV/s.

Berdasarkan voltammogram di atas, kondisi paling optimum elektroda Au/PLE dalam deteksi ion logam Cu^{2+} diperoleh menggunakan *supporting electrolyte* HNO_3 0,1 M. Arus puncak yang dihasilkan HNO_3 261 μA , arus puncak buffer fosfat 17 μA dan arus puncak buffer asetat 188 μA . *Supporting electrolyte* dengan pH yang lebih tinggi ini dapat menyebabkan penurunan kapasitansi elektroda sehingga juga menurunkan puncak arus yang dihasilkan (Shin & Kang, 2003). Pada buffer asetat, arus puncak yang dihasilkan lebih rendah, hal ini terjadi karena sifat pengompleksan ion asetat dengan logam berperan dalam mengurangi puncak voltammogram. Asetat dapat membentuk kompleks lemah dengan ion Cu^{2+} , meskipun kompleks lemah ini dapat mengurangi ketersediaan ion bebas untuk mengalami reduksi pada elektroda. Hal ini mengakibatkan puncak arus yang lebih rendah dibandingkan dengan HNO_3 (Yomthiangthae dkk., 2020).

Pada buffer fosfat, tidak dihasilkan puncak voltammogram yang baik, hal ini terjadi karena ion fosfat dapat berinteraksi dengan ion logam untuk membentuk endapan, yang ditandai dengan terbentuknya endapan dalam larutan. Hal ini dapat mengganggu proses pengukuran sehingga puncak arus yang baik tidak dihasilkan (Honeychurch, 2019).

B. Variasi pH

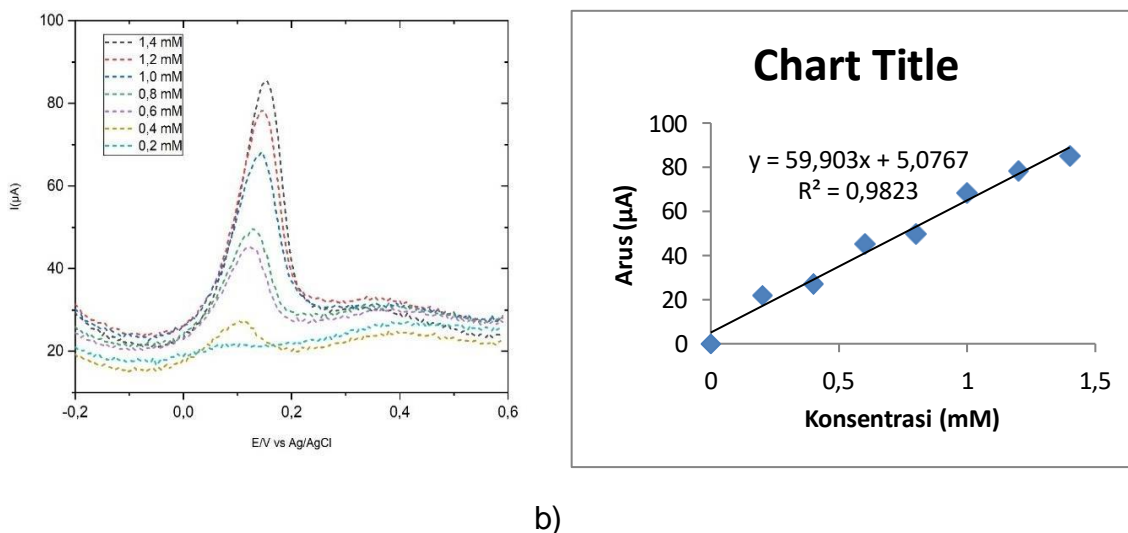


Gambar 4. Voltammogram SWV dari Au/PLE dalam 0,2 mM Cu^{2+} dengan variasi pH *supporting electrolyte* pada scan rate 50 mV/s

Pada optimasi pH *supporting electrolyte* pH dari HNO₃ sebagai *supporting electrolyte* paling optimum divariasikan dari pH 1, 2, dan 3 kemudian diuji menggunakan *Square Wave Voltammetry* dari rentang potensial -0,2 V hingga 0,2 V pada scan rate 50 mV/s. Berdasarkan voltammogram yang ditunjukkan pada Gambar 4 diperoleh bahwa pH *supporting electrolyte* paling optimum pada penentuan ion Cu²⁺ 0,2 mM ditunjukkan pada HNO₃ dengan pH 1. Hal ini dikarenakan semakin meningkatnya konsentrasi *supporting electrolyte* yang digunakan maka semakin kuat pula larutan elektrolit yang digunakan, sehingga menyebabkan konduktivitas semakin tinggi dan respon sensor yang dihasilkan semakin baik (Pan dkk., 2004). Jika diperoleh pH optimum diharapkan semakin banyak pula ion logam Cu teradsorpsi pada permukaan elektroda sehingga akan menghasilkan arus puncak yang tinggi ketika pengukuran berlangsung nantinya (Bow dkk., 2015).

C. Kurva Kalibrasi

Penentuan kurva kalibrasi dilakukan untuk menentukan linearitas serta untuk mengetahui bagaimana kemampuan suatu metode analisis memperoleh hasil analisis yang sesuai dengan konsentrasi analit pada variasi konsentrasi tertentu. Dengan memvariasikan konsentrasi larutan analit yang akan diuji kita dapat melihat daerah linear dimana kenaikan konsentrasi analit berbanding lurus dengan kenaikan arus oksidasinya (Andini, 2012). Pada penelitian ini variasi konsentrasi larutan $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ yang diuji pada konsentrasi 0.0 mM, 0.2 mM, 0.4 mM, 0.6 mM, 0.8 mM, 1.0 mM, 1.2 mM, dan 1.4 mM dengan teknik SWV dalam larutan HNO_3 pH 1.



Gambar 5. (a) Cyclic voltammogram dari Au/PLE dalam HNO_3 pH 1 dengan variasi konsentrai ion logam Cu^{2+} , (b) kurva kalibrasi dari ion logam Cu^{2+} dengan variasi konsentrasi

Seperti yang dapat dilihat pada gambar 5. semakin tinggi konsentrasi $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ yang dipakai maka akan semakin tinggi pula densitas arus yang dihasilkan. Sehingga kurva kalibrasi yang diperoleh dalam rentang linear dari 0.0 mM hingga 1.4 mM

menunjukkan hubungan linear yang ideal dengan nilai koefisien korelasi $R^2 = 0.9823$ dan limit deteksi sebesar 0.19 mM. Pada penelitian (Teeparuksapun dkk., 2019) dalam pendeteksian ion Cu^{2+} menggunakan metode pengembangan uji kolorimetri untuk deteksi Cu^{2+} yang dikembangkan didasarkan pada fungsionalisasi permukaan AgNPs dengan Alpha-lipoic Acid (ALA) yang dapat diukur dengan UV-vis sebagai analisis kuantitatif deteksi ion Cu^{2+} , sehingga didapatkan LOD dan LOQ masing-masing adalah 4,3 dan 14,5 μM dengan koefisien linear (r) sebesar 0,9978.

Kesimpulan

Dalam penelitian ini, elektroda PLE yang dimodifikasi dengan lapisan tipis emas (Au/PLE) secara elektrodposisi digunakan untuk mendeteksi ion logam Cu^{2+} . Elektroda Au/PLE menunjukkan hasil yang lebih baik dalam mendeteksi ion logam Cu^{2+} dibandingkan dengan PLE karena memiliki luas permukaan yang lebih besar dan efek elektrokatalitik. Elektroda Au/PLE diuji dengan variasi elektrolit pendukung, pH elektrolit pendukung yang menunjukkan hasil optimum untuk pengukuran Cu^{2+} menggunakan larutan HNO_3 pada pH 1. Pengukuran ion Cu^{2+} menggunakan Au/PLE pada kondisi optimum menghasilkan nilai koefisien korelasi (R^2) sebesar 0.9823 dan limit deteksi sebesar 0.19 mM.

Daftar Referensi

- Agristiyani, N., Suprijanto, J., & Ario, R. (2022). Asupan Aman Konsumsi Logam Cu Pada Kerang Darah dari Tempat Pelelangan Ikan Tambak Lorok, Semarang. *Buletin Oseanografi Marina*, 11(1), 71–76.
<https://doi.org/10.14710/buloma.v11i1.37143>
- Bow, Y., Hairul, & Hajar, I. (2015). Penentuan Logam Berat Secara Anodic Stripping Voltammetry Menggunakan Elektroda Grafit Pensil. *Prosiding Seminar Nasional Forum In Research, Science, and Technology (FIRST)*, 61–65.
<http://eprints.polsri.ac.id/2538/>
- Honeychurch, K. C. (2019). Review of electroanalytical-based approaches for the

- determination of benzodiazepines. *Biosensors*, 9(4).
<https://doi.org/10.3390/bios9040130>
- Kumala Sari, T., Riga, R., & Zubir, M. (2021). Eksakta Article Pencil Lead Electrode Modified with Gold Thin Layer for Voltammetric Detection of Chromium(VI). *Eksakta*, 22(02), 145–153.
- Muharami, R., Sari, C., Marlin, E., & Hartati, Y. W. (2019). *Chimica et Natura Acta*. 7(3), 138–146.
- Pan, H., Liu, Y., Gao, M., Zhu, Y., Lei, Y., & Wang, Q. (2004). Structural and Electrochemical Properties of the La_{0.7}Mg_{0.3}Ni_{2.975-x}Co_{0.525}Mn_x Hydrogen Storage Electrode Alloys. *Journal of The Electrochemical Society*, 151(3), A374. <https://doi.org/10.1149/1.1643070>
- Prasad, B. B., Madhuri, R., Tiwari, M. P., & Sharma, P. S. (2010). Imprinting molecular recognition sites on multiwalled carbon nanotubes surface for electrochemical detection of insulin in real samples. *Electrochimica Acta*, 55(28), 9146–9156. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2010.09.008>
- Sari, T. K., Riga, R., Zubir, M., Info, A., Science, N., Negeri, U., Science, N., Negeri, U., & Voltammetry, C. (2021). *Eksakta*. 22(02), 145–153.
- Shawabkeh, R., Al-Harashsheh, A., & Al-Otoom, A. (2004). Copper and zinc sorption by treated oil shale ash. *Separation and Purification Technology*, 40(3), 251–257. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2004.03.006>
- Shin, H., & Kang, C. (2003). Adhesion of Gold Nanoparticles on an Electrochemically Pretreated Glassy Carbon Electrode. *Analytical Sciences*, 19(12), 1667–1670. <https://doi.org/10.2116/analsci.19.1667>
- Teeparuksapun, K., Prasongchan, N., & Thawonsuwan, A. (2019). Alpha-lipoic acid functionalized silver nanoparticles for colorimetric detection of copper ion. *Analytical Sciences*, 35(4), 371–377. <https://doi.org/10.2116/analsci.18P442>
- Yomthiangthae, P., Kondo, T., Chailapakul, O., & Siangproh, W. (2020). The effects of the supporting electrolyte on the simultaneous determination of vitamin B2, vitamin B6, and vitamin C using a modification-free screen-printed carbon electrode. *New Journal of Chemistry*, 44(29), 12603–12612. <https://doi.org/10.1039/d0nj02175j>
- Agriyastiyani, N., Suprijanto, J., & Ario, R. (2022). Asupan Aman Konsumsi Logam Cu

- Pada Kerang Darah dari Tempat Pelelangan Ikan Tambak Lorok, Semarang. *Buletin Oseanografi Marina*, 11(1), 71–76.
<https://doi.org/10.14710/buloma.v11i1.37143>
- Bow, Y., Hairul, & Hajar, I. (2015). Penentuan Logam Berat Secara Anodic Stripping Voltammetry Menggunakan Elektroda Grafit Pensil. *Prosiding Seminar Nasional Forum In Research, Science, and Technology (FIRST)*, 61–65.
<http://eprints.polsri.ac.id/2538/>
- Honeychurch, K. C. (2019). Review of electroanalytical-based approaches for the determination of benzodiazepines. *Biosensors*, 9(4).
<https://doi.org/10.3390/bios9040130>
- Kumala Sari, T., Riga, R., & Zubir, M. (2021). Eksakta Article Pencil Lead Electrode Modified with Gold Thin Layer for Voltammetric Detection of Chromium(VI). *Eksakta*, 22(02), 145–153.
- Muharami, R., Sari, C., Marlin, E., & Hartati, Y. W. (2019). *Chimica et Natura Acta*. 7(3), 138–146.
- Pan, H., Liu, Y., Gao, M., Zhu, Y., Lei, Y., & Wang, Q. (2004). Structural and Electrochemical Properties of the $\text{La}_{0.7}\text{Mg}_{0.3}\text{Ni}_{2.975-x}\text{Co}_{0.525}\text{Mn}_x$ Hydrogen Storage Electrode Alloys. *Journal of The Electrochemical Society*, 151(3), A374. <https://doi.org/10.1149/1.1643070>
- Prasad, B. B., Madhuri, R., Tiwari, M. P., & Sharma, P. S. (2010). Imprinting molecular recognition sites on multiwalled carbon nanotubes surface for electrochemical detection of insulin in real samples. *Electrochimica Acta*, 55(28), 9146–9156.
<https://doi.org/10.1016/j.electacta.2010.09.008>
- Sari, T. K., Riga, R., Zubir, M., Info, A., Science, N., Negeri, U., Science, N., Negeri, U., & Voltammetry, C. (2021). *Eksakta*. 22(02), 145–153.
- Shawabkeh, R., Al-Harashsheh, A., & Al-Otoom, A. (2004). Copper and zinc sorption by treated oil shale ash. *Separation and Purification Technology*, 40(3), 251–257.
<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2004.03.006>
- Shin, H., & Kang, C. (2003). Adhesion of Gold Nanoparticles on an Electrochemically Pretreated Glassy Carbon Electrode. *Analytical Sciences*, 19(12), 1667–1670.
<https://doi.org/10.2116/analsci.19.1667>

- Teeparuksapun, K., Prasongchan, N., & Thawonsuwan, A. (2019). Alpha-lipoic acid functionalized silver nanoparticles for colorimetric detection of copper ion. *Analytical Sciences*, 35(4), 371–377. <https://doi.org/10.2116/analsci.18P442>
- Yomthiangthae, P., Kondo, T., Chailapakul, O., & Siangproh, W. (2020). The effects of the supporting electrolyte on the simultaneous determination of vitamin B2, vitamin B6, and vitamin C using a modification-free screen-printed carbon electrode. *New Journal of Chemistry*, 44(29), 12603–12612. <https://doi.org/10.1039/d0nj02175j>