MASALIQ
Jurnal Pendidikan dan Sains

e-ISSN: 2808-8115
p-ISSN: 2809-1051

Terindeks: Sinta 5, Copernicus, Dimensions, Scilit, Lens, Crossref, Garuda, Google Scholar, Base, etc

https://doi.org/10.58578/masaliq.v5i4.6859

PENGARUH VARIASI *PENCIL LEAD ELECTRODE* (PLE) TERHADAP DETEKSI ION LOGAM Cu^{2+} MENGGUNAKAN MODIFIKASI MnO_2 DENGAN METODE *VOLTAMETRI SIKLIK*

Effect of Pencil Lead Electrode (PLE) Variation on the Detection of Cu^{2+} Metal Ions Using MnO_2 Modification by Cyclic Voltammetry Method

Mutiara Permatasari & Trisna Kumala Sari
Universitas Negeri Padang
trisna.kumala.s@fmipa.unp.ac.id

Article Info:

Submitted:	Revised:	Accepted:	Published:
Jun 15, 2025	Jul 8, 2025	Jul 20, 2025	Jul 25, 2025

Abstract

This study is motivated by the limited research on the use of modified pencil lead electrodes in electrochemical detection, despite their advantages as simple, low-cost, environmentally friendly, and highly sensitive heavy metal sensors. Copper ions (Cu^{2+}) are essential elements for biological functions, but in excessive amounts, they become toxic and can damage vital organs such as the liver and kidneys. The aim of this research is to develop an effective electrochemical sensor for detecting Cu^{2+} ions by optimizing the type and modification of pencil lead electrodes. Electrode modification was performed using the drop-casting method with manganese dioxide (MnO_2) on three pencil hardness grades (2B, B, and HB), with voltammogram analysis based on the resulting current and redox potential. The results indicate that the MnO_2/PLE (2B) electrode demonstrated the most optimal performance compared to the other variations. This advantage is attributed to the electrocatalytic properties of MnO_2 and the higher graphite content in 2B pencils, which enhance the

Masaliq Journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License

electrode's conductivity and electrochemical response. These findings confirm that MnO_2/PLE (2B) is effective for Cu^{2+} ion detection and holds potential for development as an efficient electrochemical sensor for heavy metal analysis.

Keywords: Cu^{2+} Ion; MnO_2; Pencil Electrode; Cyclic Voltammetry; Electrochemical Sensor

Abstrak: Penelitian ini dilatarbelakangi oleh terbatasnya kajian terkait penggunaan elektroda *pencil lead* termodifikasi dalam deteksi elektrokimia, meskipun metode ini menawarkan keunggulan sebagai sensor logam berat yang sederhana, berbiaya rendah, ramah lingkungan, dan memiliki sensitivitas tinggi. Ion tembaga (Cu^{2+}) merupakan unsur esensial yang penting bagi fungsi biologis, namun dalam kadar berlebih bersifat toksik dan dapat merusak organ vital seperti hati dan ginjal. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sensor elektrokimia yang efektif dalam mendeteksi ion Cu^{2+} melalui optimalisasi jenis dan modifikasi elektroda *pencil lead*. Modifikasi elektroda dilakukan dengan metode *drop-casting* menggunakan mangan dioksida (MnO_2) pada tiga variasi tingkat kekerasan pensil (2B, B, dan HB), dengan analisis voltammogram berdasarkan arus dan potensial redoks yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa elektroda MnO_2/*PLE* (2B) memberikan performa paling optimal dibandingkan dengan variasi lainnya. Keunggulan ini disebabkan oleh sifat elektrokatalitik MnO_2 serta kandungan grafit yang lebih tinggi pada pensil 2B, yang meningkatkan konduktivitas dan respons elektrokimia elektroda. Temuan ini membuktikan bahwa MnO_2/*PLE* (2B) efektif untuk deteksi ion Cu^{2+}, sehingga berpotensi dikembangkan sebagai sensor elektrokimia untuk analisis logam berat secara efisien.

Kata Kunci: Ion Cu^{2+}; MnO_2; Elektroda Pensil; *Voltametri Siklik*; Sensor Elektrokimia

PENDAHULUAN

Ion tembaga (Cu^{2+}) merupakan unsur esensial yang berperan sebagai kofaktor berbagai enzim dalam proses fisiologis, seperti respirasi pematangan jaringan. Namun, kelebihan Cu^{2+} bersifat toksik dan dapat merusak hati maupun ginjal, sehingga berisiko menimbulkan penyakit serius (Ma et al., 2020). Sumber utama kontaminasi logam berat berasal dari berbagai aktivitas industri, seperti pertambangan, pelapisan logam, peleburan, serta produksi cat, pigmen, baterai, dan bahan kimia pertanian, termasuk pupuk, fungisida, herbisida, dan insektisida (Mourya et al., 2019), selain itu kontaminasi Cu^{2+} juga dapat berasal dari makanan dan air yang tercemar (Ma et al., 2020). Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023, kadar maksimum tembaga (Cu) yang diperbolehkan dalam air minum adalah 2 mg/L (Kementerian Kesehatan, 2023).

Secara umum metode yang digunakan untuk deteksi ion logam Cu^{2+} meliputi *X-Ray Fluorescence* (XRF)(Supriyanto & Bohari, 2018), *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) (Handes et al., 2021), *UV-Vis Spectrophotometry* (Setiawan et al., 2019), *Inductively Coupled Plasma-mass Spectroscopy* (ICP-MS) (de Souza et al., 2022), dan metode elektrokimia (Kumala Sari et al., 2021). Di antara berbagai teknologi yang tersedia, metode elektrokimia mendapat perhatian besar karena keunggulannya, seperti prosedur analisis yang sederhana, peralatan yang relatif murah, serta sensitivitas yang tinggi (Kumala Sari et al., 2021). Metode elektrokimia yang digunakan pada penelitian ini yaitu voltametri.

Voltametri adalah metode analisis elektrokimia yang telah digunakan secara luas untuk mendeteksi berbagai senyawa dalam larutan. Teknik ini didasarkan pada prinsip elektrolisis, di mana energi listrik digunakan untuk memicu reaksi redoks pada permukaan elektroda. Arus yang timbul dari reaksi tersebut kemudian diukur dan dianalisis guna mengetahui karakteristik reaksi redoks serta konsentrasi senyawa yang dianalisis (Compton & Banks, 2011). Metode voltametri menawarkan sejumlah keunggulan, termasuk sensitivitas tinggi, batas deteksi rendah, waktu analisis yang singkat karena memerlukan sedikit preparasi sampel, serta kemampuan mendeteksi analit dalam rentang konsentrasi yang luas (Wang, 2006).

Pada penelitian ini pencil lead electrode digunakan sebagai elektroda kerja, PLE memiliki keunggulan seperti harganya yang terjangkau, mudah diperoleh, dan memiliki proses pembersihan yang sederhana (David et al., 2017). Selain itu, PLE termasuk elektroda sekali pakai yang dapat digunakan dengan mudah tanpa melalui prosedur yang kompleks, serta memiliki area permukaan yang luas (Congur & GÜL, 2021). Pencil lead diklasifikasikan dengan kode huruf H (menunjukkan tingkat kekerasan) dan B (menunjukkan tingkat kehitaman), disertai angka yang merepresentasikan intensitasnya, dari 9H (paling keras) hingga 8B (paling lunak). Pensil tipe B memiliki kandungan grafit yang lebih tinggi dan tekstur yang lebih lunak, sedangkan pensil tipe H cenderung lebih keras karena mengandung banyak tanah liat dan kadar grafit yang lebih rendah. Sedangkan tipe HB memiliki campuran grafit dan tanah liat dengan perbandingan yang relatif seimbang (David et al., 2017).

Sensitivitas dan selektivitas PLE terhadap analit tertentu dapat ditingkatkan melalui penggunaan berbagai material modifikasi (Kawde et al., 2016). Umumnya, pencil lead dimodifikasi dengan bahan inert seperti emas (Au), perak (Ag), material berbasis silika, karbon (seperti grafit, karbon nanotube, dan graphene), serta oksida logam (Nguyen et al.,

2023)Selain itu, elektroda yang mengalami modifikasi kimia menunjukkan ketahanan yang lebih baik terhadap pembentukan oksida dan kontaminasi permukaan dibandingkan dengan elektroda yang tidak dimodifikasi (Pour et al., 2022). Beberapa penelitian terkait penggunaan PLE diantaranya: Ag/PLE (Zulfa & Sari, 2024), Au/PLE (Kumala Sari et al., 2021), PLE/Bismuth-Film (Bedin et al., 2018) dan PLE/PSS/CnP (Cantalapiedra et al., 2015).

Pada penelitian ini pencil lead electrode (PLE) dimodifikasi menggunakan mangan dioksida (MnO2). MnO_2 merupakan oksida logam transisi yang dikenal karena sifat khasnya, seperti ketersediaan melimpah, biaya yang ekonomis, serta ramah lingkungan (Miao et al., 2019). Mangan dioksida memiliki stabilitas dan efisiensi tinggi, sehingga banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang, termasuk aplikasi sensor elektrokimia. Dalam aplikasi sensor elektrokimia, nanopartikel MnO_2 dimanfaatkan karena kemampuannya mendeteksi berbagai analit dengan sensitivitas dan selektivitas yang tinggi. Selain itu, MnO_2 memiliki luas permukaan yang besar dan mampu meningkatkan aktivitas elektrokatalitiknya (Mokaba et al., 2024). Modifikasi elektroda dilakukan menggunakan metode *drop-casting*, yaitu teknik sederhana dan ekonomis untuk mendeposisikan larutan material ke permukaan substrat. Metode ini memungkinkan pembentukan lapisan tipis yang merata dan berkualitas tinggi pada area yang luas (Qdemat et al., 2020).

Berdasarkan uraian di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi PLE dalam mendeteksi ion logam Cu^{2+} yang dimodifikasi menggunakan mangan dioksida dengan teknik *drop-casting* yang dipelajari menggunakan metode voltametri siklik.

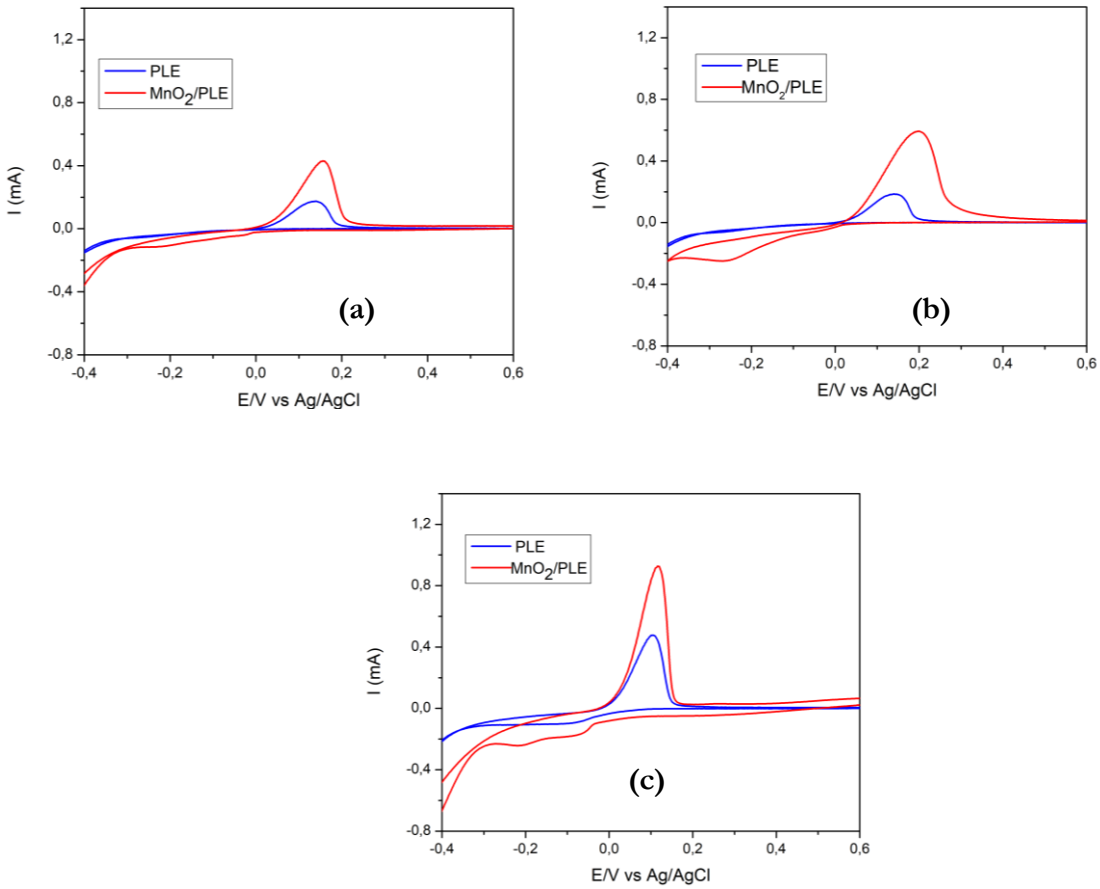
METODE

Penelitian ini dilakukan pada bulan Februari sampai Juni 2025 di laboratorium penelitian Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi gelas kimia, pipet mikro, botol vial, $Cu(NO_3)_2$. 3 H_2O (Merck), $HClO_4$ (Merck), MnO_2, kertas saring Whatman, serta aquades. Pengukuran elektrokimia dilakukan menggunakan potensiostat e-Daq model EA163 dengan sistem tiga elektroda, yang terdiri dari elektroda referensi Ag/AgCl, elektroda pembantu berupa kawat platinum, dan elektroda kerja berupa *Pencil Lead Electrode* (PLE) Pilot (2B, B, dan HB dengan ukuran 0,5 mm) dan (2B dengan ukuran 0,9 mm) yang dimodifikasi menggunakan mangan dioksida (MnO_2/PLE). Modifikasi

dilakukan menggunakan teknik *drop-casting* dengan meneteskan 5 µL MnO_2 ke permukaan PLE yang telah dipoles dengan kertas saring, kemudian dikeringkan selama 1 jam pada suhu ruang. Elektroda tersebut direpresentasikan sebagai MnO_2/PLE kemudian dilakukan pengujian terhadap larutan uji Cu^{2+} 1 mM dengan *supporting electrolyte* $HClO_4$ 1 mM menggunakan voltametri siklik. Pengukuran dilakukan dengan mengatur *scan rate* sebesar 100 mV/s dalam rentang potensial dari -0,5 V hingga +0,6 V.

HASIL

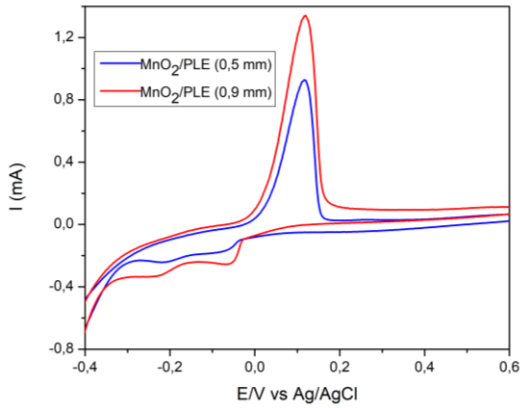
Pengujian elektroda *pencil lead* (Hb, B, dan 2B 0,5 mm) terhadap larutan uji Cu^{2+} 1 mM dengan *supporting electrolyte* $HClO_4$ 0,1 M dengan metode voltametri siklik.



Gambar 1. Voltammogram siklik variasi PLE dan MnO_2/PLE, a.) Hb (0,5 mm), b.) B (0,5 mm), c.)2B (0,5 mm) terhadap ion Cu^{2+} 1 mM dalam *supporting electrolyte* $HClO_4$ 0,1 M pada *scan rate* 100 mV/s .

Berdasarkan pada voltammogram gambar 1 dapat dilihat bahwa elektroda MnO_2/PLE (2B) menunjukkan arus puncak yang lebih tinggi dan respons yang lebih sensitif dibandingkan MnO_2/PLE tipe B dan HB. Temuan ini mengindikasikan bahwa modifikasi elektroda dengan mangan dioksida (MnO_2) pada PLE mampu meningkatkan kinerja deteksi, yang disebabkan oleh perluasan area permukaan aktif elektroda sehingga menghasilkan intensitas arus yang lebih besar (Mokaba et al., 2024).

Selanjutkan dilakukan variasi pada *pencil lead* (2B) dengan ukuran diameter yang berbeda yaitu 0,5 mm dan 0,9 mm untuk mengetahui ukuran *pencil lead* yang optimum untuk deteksi ion logam Cu^{2+}, hasilnya dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Voltammogram siklik variasi MnO_2/PLE (2B 0,5 mm dan 0,9 mm) terhadap ion Cu^{2+} 1 mM dalam *supporting electrolyte* $HClO_4$ 0,1 M pada *scan rate* 100 mV/s .

Berdasarkan voltammogram dapat dilihat *pencil lead* 2B dengan ukuran 0,9 mm menunjukkan kinerja yang lebih unggul dibandingkan 2B 0,5 mm, dikarenakan memiliki diameter yang lebih besar sehingga luas permukaannya juga lebih besar.

Table 1. Perbandingan MnO_2/PLE 2B (0,5 mm dan 0,9 mm)

MnO_2/PLE	**Oksidasi**		**Reduksi**	
	E(V)	**I(mA)**	**E(V)**	**I(mA)**
2B 0,5 mm	+0,1160	0,9136	-0,0785	0,1789
2B 0,9 mm	+0,1180	1,3456	-0,0627	0,2605

PEMBAHASAN

Variasi PLE dan MnO_2/PLE (HB, B dan 2B) terhadap deteksi ion logam Cu^{2+} menggunakan metode voltametri siklik

Berdasarkan voltammogram pada gambar 1, MnO_2/PLE (2B) menunjukkan respon yang lebih tinggi dibandingkan (HB dan B) dalam deteksi ion Cu^{2+}. Puncak oksidasi elektroda PLE (HB, B dan 2B) terdeteksi pada 0,1380 V; 0,1460 V; 0,1040 V, sedangkan pada MnO_2/PLE terdeteksi pada 0,1562 V; 0,1982 V; 0,1160 V. Kuat arus tertinggi tercatat pada MnO_2/PLE (2B) dengan nilai sebesar 0,9359 mA kemudian diikuti oleh MnO_2/PLE B dan HB dengan kuat arus masing-masing 0,6050 mA dan 0,4030 mA. Perbedaan kuat arus pada ketiga variasi tersebut disebabkan oleh kandungan grafit yang berbeda, dimana kandungan grafit setiap pencil lead dapat mempengaruhi konduktivitas dan arus yang dihasilkan (Hanam et al., 2024). Selain itu, kenaikan nilai arus pada MnO_2/PLE mengindikasikan bahwa keberadaan MnO_2 mampu meningkatkan luas permukaan dan kinerja elektrokatalitik dari elektroda (Mokaba et al., 2024). Penggunaan MnO_2 sebagai modifikasi elektroda juga turut berkontribusi dalam penyebaran situs aktif secara merata di permukaan elektroda yang berperan signifikan dalam meningkatkan kinerja serta sensitivitas elektroda terhadap analit. MnO_2 juga memiliki keunggulan lain seperti kelimpahan yang tinggi, biaya yang rendah, serta kompatibilitas lingkungan yang baik (Miao et al., 2019). Elektroda MnO_2/PLE (2B) menghasilkan arus tertinggi dan paling optimal karena mengandung grafit lebih banyak dibandingkan tipe B dan HB. Persentase kandungan grafit dalam pensil 2B yaitu 0,74%(Sousa & Buchanan, 2000). Semakin besar angka pada tipe pensil B, semakin tinggi kandungan grafitnya sehingga memberikan resistansi yang lebih rendah dan meningkatkan konduktivitas (Bernalte et al., 2016).

Reaksi oksidasi dan reduksi yang terjadi yaitu:

i. Oksidasi : $Cu_{(s)} \rightarrow Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^-$

ii. Reduksi : $Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Cu_{(s)}$

Variasi ukuran MnO_2/PLE 2B (0,5 mm dan 0,9 mm)

Berdasarkan voltammogram pada gambar 2, PLE dengan diameter 0,9 mm memberikan respon yang lebih baik dibandingkan 0,5 mm. Puncak oksidasi pada MnO_2/PLE (0,5 mm) terdeteksi pada potensial +1,160 V dengan arus kuat arus 0,9136 mA, sedangkan untuk MnO_2/PLE (0,9 mm) puncak oksidasi terdeteksi pada potensial +1,180 V dengan kuat arus 1,3456 mA. Puncak reduksi untuk kedua variasi elektroda tersebut

terdeteksi pada potensial -0,0785 V dengan arus puncak 0,1789 mA untuk MnO_2/PLE (0,5 mm) dan -0,0627 V dengan arus puncak 0,2625 mA untuk MnO_2/PLE (0,9 mm).

Berdasarkan hasil tersebut ukuran diameter elektroda dapat mempengaruhi luas permukaan aktif elektroda. Semakin besar diameter elektroda, semakin luas permukaan yang tersedia untuk terjadinya reaksi redoks antara elektroda dan analit. Luas permukaan yang lebih besar memungkinkan lebih banyak analit yang berinteraksi dengan permukaan elektroda, sehingga meningkatkan jumlah transfer elektron selama proses redoks (Tsierkezos & Ritter, 2014).

Dalam elektrokimia arus berbanding lurus dengan luas permukaan aktif elektroda, sehingga semakin besar luas permukaan (akibat diameter atau kekasaran), semakin tinggi arus yang dihasilkan selama proses redoks(Coelho et al., 2021).

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa elektroda PLE tipe 2B khususnya diameter 0,9 mm menunjukkan kinerja yang lebih baik dalam mendeteksi ion logam Cu^{2+} dibandingkan elektroda PLE tipe HB dan B. Hal tersebut dikarenakan kandungan grafit pada PLE tipe 2B lebih banyak dibandingkan tipe HB dan B sehingga dapat meningkatkan konduktivitas listrik. Selain itu modifikasi elektroda menggunakan mangan dioksida (MnO_2) juga berkontribusi untuk meningkatkan luas permukaan elektroda dan mendistribusikan situs aktif secara merata pada permukaan elektroda yang dapat meningkatkan sensitivitas elektroda terhadap analit. Dari hasil tersebut menekankan bahwa pemilihan jenis grafit yang sesuai memiliki peran penting dalam meningkatkan kinerja sensor elektrokimia untuk deteksi ion logam Cu^{2+}. Penggunaan PLE dengan menerapkan modifikasi dapat dijadikan alternatif untuk pengembangan sensor elektrokimia yang sensitif, efisien, biaya yang murah dan prosedur yang lebih sederhana.

DAFTAR PUSTAKA

Adhani, R., & Husaini. (2017). Logam Berat Sekitar Manusia. In S. Kholistunnisa (Ed.), *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 1). Lambung Mangkurat University Press. http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI

Bedin, K. C., Mitsuyasu, E. Y., Ronix, A., Cazetta, A. L., Pezoti, O., & Almeida, V. C. (2018). Inexpensive bismuth-film electrode supported on pencil-lead graphite for determination of Pb(II) and Cd(II) Ions by anodic stripping voltammetry. *International Journal of Analytical Chemistry*, *2018*. https://doi.org/10.1155/2018/1473706

Bernalte, E., Foster, C. W., Brownson, D. A. C., Mosna, M., Smith, G. C., & Banks, C. E. (2016). Pencil it in: Exploring the feasibility of hand-drawn pencil electrochemical sensors and their direct comparison to screen-printed electrodes. *Biosensors*, *6*(3). https://doi.org/10.3390/bios6030045

Cantalapiedra, A., Gismera, M. J., Procopio, J. R., & Sevilla, M. T. (2015). Electrochemical sensor based on polystyrene sulfonate-carbon nanopowders composite for Cu (II) determination. *Talanta*, *139*, 111–116. https://doi.org/10.1016/j.talanta.2015.02.049

Coelho, D., Luiz, G. M., & Machado, S. A. S. (2021). Estimating the Electrochemically Active Area: Revisiting a Basic Concept in Electrochemistry. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, *32*(10), 1912–1917. https://doi.org/10.21577/0103-5053.20210080

Compton, R. G., & Banks, C. E. (2011). *Understanding Voltametry*. https://books.google.co.id/books?id=NM42DwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=id#v=onepage&q&f=false

Congur, G., & GÜL, Ü. D. (2021). Phenol monitoring in water samples using an inexpensive electrochemical sensor based on pencil electrodes modified with DTAB surfactant. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *9*(5), 105804. https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105804

David, I. G., Popa, D. E., & Buleandra, M. (2017). Pencil graphite electrodes: A versatile tool in electroanalysis. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, *2017*(Cv). https://doi.org/10.1155/2017/1905968

de Souza, R. M., Toloza, C. A. T., & Aucélio, R. Q. (2022). Fast determination of trace metals in edible oils and fats by inductively coupled plasma mass spectrometry and ultrasonic acidic extraction. *Journal of Trace Elements and Minerals*, *1*(June), 100003. https://doi.org/10.1016/j.jtemin.2022.100003

Hanam, E. S., Awilawati, W. A., & Rismawati, E. (2024). Pengukuran Karakteristik Resistivitas Pada Bahan Grafit Pensil Tipe B, F Dan H. *PASCAL (Journal of Physics and Science Learning)*, *8*(1), 35–42. https://doi.org/10.30743/pascal.v8i1.9431

Handes, T., Permatasari, D. A. I., & Mahardika, M. P. (2021). Analisis Logam Cd, Cr, Cu dan Pb Pada Air Sumur di Sekitar Kampus Universitas Duta Bangsa Surakarta Menggunakan Metode Spektrofotometri Serapan Atom (AAS). *Duta Pharma Journal*, *1*(1), 48–56. https://doi.org/10.47701/djp.v1i1.1192

Kawde, A., Baig, N., & Sajid, M. (2016). RSC Advances Graphite pencil electrodes as electrochemical sensors for environmental analysis : a review of features , developments , and applications. *RSC Advances*, *6*, 91325–91340. https://doi.org/10.1039/C6RA17466C

Kementerian Kesehatan. (2023). Permenkes No. 2 Tahun 2023. *Kemenkes Republik Indonesia*, *55*, 1–175.

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 : Berkala Ilmiah Bidang MIPA*, *22*(2), 145–153. http://www.eksakta.ppj.unp.ac.id/index.php/eksakta

Ma, X., Qian, K., Kandawa-Schulz, M., Miao, W., & Wang, Y. (2020). Direct Determination of Cu2+ Based on the Electrochemical Catalytic Reaction of Fe3+/Cu2+. *Electroanalysis*, *32*(3), 620–625. https://doi.org/10.1002/elan.201900587

Miao, L., Wang, J., & Zhang, P. (2019). Review on manganese dioxide for catalytic oxidation of airborne formaldehyde. *Applied Surface Science*, *466*(August 2018), 441–453. https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.10.031

Mokaba, P. L., Gazu, N. T., Makinita, M. L., Mthombeni, N. H., Ntola, P., & Feleni, U. (2024). Manganese Oxide Applications in Sulfonamides Electrochemical, Thermal and Optical Sensors: A Short Review. *Electrocatalysis*, 421–437. https://doi.org/10.1007/s12678-024-00890-x

Mourya, A., Sinha, S. K., & Mazumdar, B. (2019). Glassy carbon electrode modified with blast furnace slag for electrochemical investigation of Cu 2+ and Pb 2+ metal ions. *Microchemical Journal*, *147*(December 2018), 707–716. https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.03.082

Nguyen, H. T. T., Chu, N. T. H., & Le, H. T. T. (2023). Fabrication of Screen-Printed Electrodes Modified by Hydrothermal MnO2Microflowers and Carbon for Electrochemical Sensors in Copper Ions Detection. *Journal of Chemistry*, *2023*. https://doi.org/10.1155/2023/3855430

Pour, E. S., Ebrahimi, M., & Beitollahi, H. (2022). Electrochemical Sensing of Theophylline using Modified Glassy Carbon Electrode. *Chemical Methodologies*, *6*(7), 560–568. https://doi.org/10.22034/chemm.2022.336988.1476

Qdemat, A., Kentzinger, E., Buitenhuis, J., Rücker, U., Ganeva, M., & Brückel, T. (2020). Self assembled monolayer of silica nanoparticles with improved order by drop casting. *RSC Advances*, *10*(31), 18339–18347. https://doi.org/10.1039/d0ra00936a

Setiawan, A., Basyiruddin, F., & Dermawan, D. (2019). Biosorpsi Logam Berat Cu(II) Menggunakan Limbah Saccharomyces Cereviseae. *Jurnal Presipitasi : Media Komunikasi Dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, *16*(1), 29. https://doi.org/10.14710/presipitasi.v16i1.29-35

Sousa, M. C., & Buchanan, J. W. (2000). Observational models of graphite pencil materials. *Computer Graphics Forum*, *19*(1), 27–49. https://doi.org/10.1111/1467-8659.00386

Supriyanto, A., & Bohari. (2018). ANALISIS LOGAM Fe, Cu, Pb, DAN Zn DALAM MINYAK PELUMAS BARU DAN BEKAS MENGGUNAKAN X-RAY FLUORESCENCE. *Jurnal Atomik*, *03*(1), 13–17.

Tsierkezos, N. G., & Ritter, U. (2014). *Physics and Chemistry of Liquids : An Influence of concentration of supporting electrolyte on electrochemistry of redox systems on multi-walled carbon nanotubes*. *September 2014*, 37–41. https://doi.org/10.1080/00319104.2012.663496

Wang, J. (2006). Analytical electrochemistry. In *Analytical Chemistry* (Vol. 15, Issue 1). https://doi.org/10.1016/s0165-9936(96)90116-8

Zulfa, K., & Sari, T. K. (2024). *Optimization of Supporting Electrolytes for Enhanced Cu 2 + Detection Using Silver-Modified Pencil Lead Electrodes*. *6*(2), 155–163.