

## ***Pencil Lead Electrode* Termodifikasi Lapisan Tipis Perak Untuk Deteksi Ion Logam Cd<sup>2+</sup> Dengan Metode Voltammetri**

Syarifatul Fadiah<sup>1</sup>, Trisna Kumala Sari<sup>2\*</sup>  
Program Studi Kimia, Universitas Negeri Padang, Indonesia

\*Email: [trisna.kumala.s@fmipa.unp.ac.id](mailto:trisna.kumala.s@fmipa.unp.ac.id)

---

### **Abstrak**

Ion logam Cd<sup>2+</sup> adalah kontaminan yang mengancam lingkungan dan kesehatan manusia. Penelitian ini menggunakan teknik elektrokimia untuk mendeteksi ion logam Cd<sup>2+</sup>. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari respon elektrokimia dari PLE dan Ag/PLE untuk mendeteksi ion logam Cd<sup>2+</sup>, serta untuk menentukan kondisi elektrolit pendukung terbaik untuk pengukuran ion Cd<sup>2+</sup>. Metode voltammetri siklik digunakan untuk menambahkan lapisan tipis perak pada elektroda. Ag/PLE menunjukkan sensitivitas yang lebih tinggi dibandingkan PLE dalam mendeteksi ion logam Cd<sup>2+</sup>. Kondisi optimum yang diperoleh pada supporting electrolyte asetat buffer pH 4.

**Kata kunci :** Cd<sup>2+</sup>, *pencil lead electrode*, Lapisan Tipis Perak, *supporting electrolyte*, voltammetri siklik

### **Abstract**

*Cd<sup>2+</sup> metal ions are contaminants that threaten the environment and human health. The purpose of the study is to study the electrochemical responses of PLE and Ag/PLE to detect Cd<sup>2+</sup> metal ions, as well as to determine the best supporting electrolyte condition for measuring Cd<sup>2+</sup> ions. The cyclic voltametric method is used to adding a thin layer of silver to the electrode. Ag/PLE showed higher sensitivity than PLE in detecting Cd<sup>2+</sup> metal ions. The optimum conditions were obtained with a supporting electrolyte of acetate buffer pH 4.*

**Keywords :** Cd<sup>2+</sup>, *Pencil Lead Electrode*, *Silver Thin Layer*, *Supporting Electrolyte*, *Cyclic Voltammetry*

---

### **Pendahuluan**

Kontaminan logam berat, ion logam Cd<sup>2+</sup>, bersifat karsinogenik dan sulit terdegradasi. Akibatnya, ion ini berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan manusia (Phal et al., 2021). Ion logam Cd<sup>2+</sup> yang berlebihan dalam kegiatan industri bisa mengakibatkan logam Cd masuk ke lingkungan. Bahan bakar, pertambangan, cat, keramik, batu bara, baterai, dan industri lainnya memanfaatkan ion logam Cd<sup>2+</sup> (Sarvestani et al., 2023). Oleh sebab itu, ion logam Cd<sup>2+</sup> wajib diuji di lingkungan. Metode yang biasa digunakan dalam penelitian sebelumnya yaitu AAS, ICP-MS dan lain sebagainya (Shamspur et al., 2005). Metode ini memiliki kekurangan karena waktu analisis yang lama, biaya instrumentasi mahal dan non-portable.

Metode elektrokimia menganalisis reaksi analit tertentu yang membentuk sinyal listrik menjadi output. Metode ini memiliki kelebihan karena metode yang sederhana, sensitif dan biaya yang murah dengan instrumentasi yang sederhana (Kumala Sari et al., 2021). Metode voltametri siklik merupakan salah satu metode elektrokimia untuk mendeteksi logam berat, yang dapat memberikan informasi cepat tentang reaksi redoks analit (Annu et al., 2020). Elektroda berbasis karbon yaitu *Pencil Lead Electrode* (PLE) digunakan pada penelitian ini. PLE tersedia secara murah, praktis, mudah diperoleh, dan mudah dibersihkan (David et al., 2017). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa ion logam  $Cd^{2+}$  seperti BiNPs/Nafion/PLE dapat diidentifikasi dengan PLE dengan beberapa modifikasi pada teknik elektrokimia. Ini dilakukan dengan memakai metode *Anodic Stripping Voltammetry* (ASV) (Palisoc et al., 2018).

Untuk pertama kalinya, penelitian ini menguji ion logam  $Cd^{2+}$  memakai PLE yang dimodifikasi pada lapisan tipis perak. Modifikasi lapisan tipis perak dilakukan dengan teknik elektrodeposisi untuk meningkatkan katalitik permukaan elektroda. Penelitian ini memberikan metode analisis yang sederhana, sensitif, analisis cepat, dan harga yang murah.

## **Metode**

### **Alat dan Bahan**

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi gelas kimia, pipet mikro, labu ukur, magnetic stirrer, botol vial, teflon tube, serta perangkat potensiostat e-DAQ model EA163. Elektroda yang digunakan terdiri dari *Pencil Lead Electrode* (PLE) yang dimodifikasi dengan lapisan tipis perak (Ag/PLE), elektroda pembanding Ag/AgCl, dan elektroda pembantu Pt. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini mencakup  $Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ ,  $AgNO_3$ ,  $K_3[Fe(CN)_6]$ ,  $KNO_3$ ,  $HClO_4$ ,  $CH_3COOH$ ,  $CH_3COONa$ ,  $Na_2HPO_4$ ,  $NaH_2PO_4$ , kertas saring, dan aquades.

### **Preparasi Ag/PLE dengan metode elektrodeposisi**

Preparasi *Pencil Lead Electrode* (PLE) dengan lapisan tipis perak dilakukan melalui metode elektrodeposisi menggunakan larutan  $AgNO_3$  5 mM yang dilarutkan dalam elektrolit  $KNO_3$  0,1 M. Proses elektrodeposisi dilakukan dengan scan potential dari 1,0 V hingga -1,0 V sebanyak satu siklus. Elektroda yang dihasilkan kemudian dikenal sebagai *Pencil Lead Electrode* yang dimodifikasi dengan lapisan tipis perak (Ag/PLE) (Afifah & Sari, 2024).

### **Pengukuran Elektrokimia $Cd^{2+}$ pada PLE dan Ag/PLE dengan metode voltametri siklik**

Pengukuran elektrokimia untuk elektroda PLE dan Ag/PLE terhadap larutan analit ion  $Cd^{2+}$  5 mM dilakukan dalam larutan elektrolit pendukung buffer asetat 0,1 M

menggunakan metode voltametri siklik. Proses pengukuran dilakukan dengan scan potensial dari 0,2 V hingga -1,5 V dengan *scan rate* sebesar 100 mV/s.

### Variasi *Supporting Electrolyte*

Variasi supporting electrolyte dilakukan pada larutan  $\text{Cd}^{2+}$  5 mM dengan menggunakan berbagai larutan elektrolit, yaitu  $\text{HNO}_3$  0,1 M,  $\text{HClO}_4$  0,1 M, buffer asetat pH 4, dan buffer fosfat pH 7. Pengukuran dilakukan dengan metode voltametri siklik, menggunakan scan potensial dari 0,2 V hingga -1,5 V dan *scan rate* sebesar 100 mV/s.

### Variasi pH

Variasi pH dilakukan pada larutan elektrolit buffer asetat dalam larutan uji  $\text{Cd}^{2+}$  5 mM. Metode voltametri siklik diterapkan pada *scan rate* sebesar 100 mV/s. Variasi pH buffer asetat yang diterapkan pada pengukuran ini adalah pH 4, pH 5 dan pH 6.

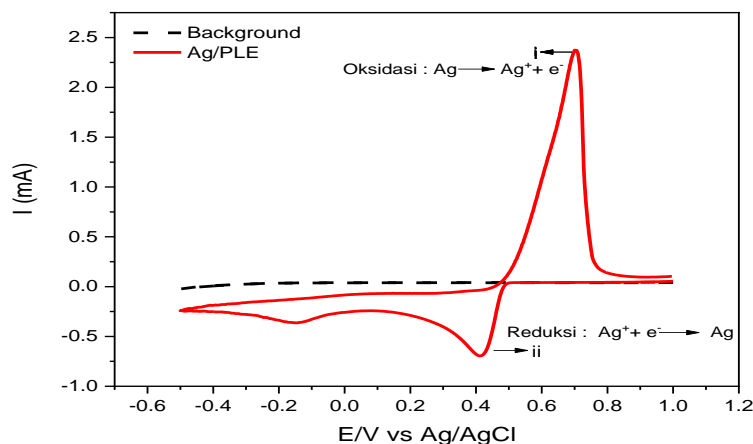
### Kurva Kalibrasi

Kurva kalibrasi dilakukan pada larutan elektrolit buffer asetat dalam uji  $\text{Cd}^{2+}$  5 mM. Metode voltametri siklik diterapkan pada *scan rate* sebesar 100 mV/s. Variasi kurva kalibrasi  $\text{Cd}^{2+}$  diterapkan pada pengukuran ini adalah 0 hingga 3 mM.

## Hasil dan Pembahasan

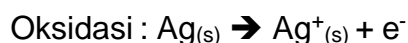
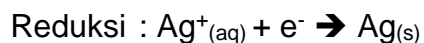
### Modifikasi PLE dengan Perak (Ag/PLE)

Modifikasi permukaan elektroda *Pencil Lead Electrode* (PLE) dengan lapisan tipis perak dilakukan melalui elektrodposisi menggunakan larutan 5 mM  $\text{AgNO}_3$  dalam  $\text{KNO}_3$  0,1 M. Proses ini dilakukan pada permukaan elektroda sebanyak satu siklus. Puncak oksidasi dan reduksi yang muncul pada voltammogram (Gambar 1) mengindikasikan bahwa perak telah berhasil terdposisi pada permukaan elektroda, yang kemudian direpresentasikan sebagai Ag/PLE (Afifah e al., 2024).



**Gambar 1.** Voltammogram siklik dari modifikasi *Pencil Lead Electrode* (PLE) dalam larutan  $\text{AgNO}_3$  5 mM dan  $\text{KNO}_3$  0,1 M, dengan *scan rate* 100 mV/s (Afifah et al., 2024)

Proses elektrodposisi perak pada PLE menunjukkan keberhasilan dalam meningkatkan sensitivitas elektroda terhadap  $\text{Cd}^{2+}$ . Hal ini terlihat dari perbedaan arus puncak oksidasi pada voltammogram antara PLE dan Ag/PLE. Ag/PLE menunjukkan arus yang lebih tinggi, yang menandakan peningkatan sensitivitas berkat luas permukaan yang lebih besar dan efek elektrokatalitik dari lapisan perak. Berdasarkan voltammogram pada Gambar 1, tampak adanya puncak oksidasi dan puncak reduksi pada Ag/PLE. Reaksi-reaksi yang terlibat dalam proses ini dapat dijelaskan sebagai berikut:



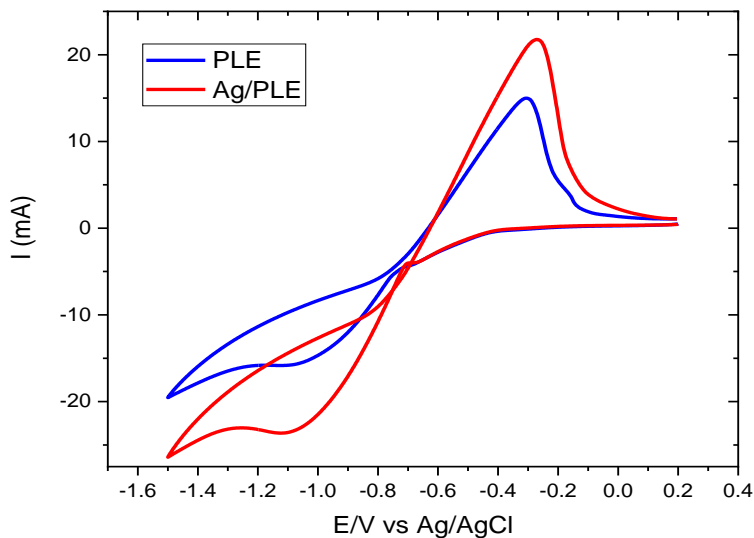
Dengan arus 0,60 mA, nilai potensial reduksi perak adalah +0,27 V, dan puncak oksidasi adalah +0,58 V. Berdasarkan data, ini menunjukkan bahwa permukaan PLE telah dilapisi dengan lapisan tipis perak selama 1 cycle. Dalam laporan sebelumnya, puncak oksidasi berada pada +0,45 V dan puncak reduksi berada pada +0,20 V (Safavi et al., 2009). Elektroda ini ditunjukkan sebagai Ag/PLE, yang merupakan PLE yang termodifikasi lapisan tipis perak. Tujuan dari perubahan permukaan PLE adalah untuk meningkatkan sensitivitas permukaan elektroda (Phal et al., 2021). Kedua elektroda memiliki sensitivitas yang sama terhadap  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{-3/-4}$ . Elektroda Ag/PLE menunjukkan hasil yang lebih efektif dalam pengukuran  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{-3/-4}$  pada voltametri siklik.

Perbandingan dengan literatur yang ada juga relevan, di mana pergeseran potensial oksidasi dan reduksi menunjukkan perbedaan yang signifikan antara elektroda yang telah dimodifikasi dan yang tidak. Ini menunjukkan bahwa modifikasi ini memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan elektroda yang tidak dimodifikasi

### **Deteksi Ion Logam $\text{Cd}^{2+}$**

Dalam pengujian deteksi  $\text{Cd}^{2+}$ , elektroda Ag/PLE menunjukkan performa yang lebih unggul dibandingkan dengan PLE, terutama dalam hal arus puncak oksidasi  $\text{Cd}^{2+}$ . Hal ini mendukung tujuan penelitian untuk meningkatkan sensitivitas elektroda melalui modifikasi permukaan.

Pengujian ini menunjukkan bahwa modifikasi dengan perak memberikan keuntungan dalam mendeteksi ion logam yang sulit, seperti  $\text{Cd}^{2+}$ , yang sering memerlukan sensitivitas tinggi untuk analisis yang akurat. Pengujian ini dilakukan dalam larutan  $\text{Cd}^{2+}$  5 mM dan buffer asetat 0,1 M dengan sweep potensial dari +0,2 V hingga -1,5 V. Hasil pengukuran ditunjukkan pada Gambar 2.

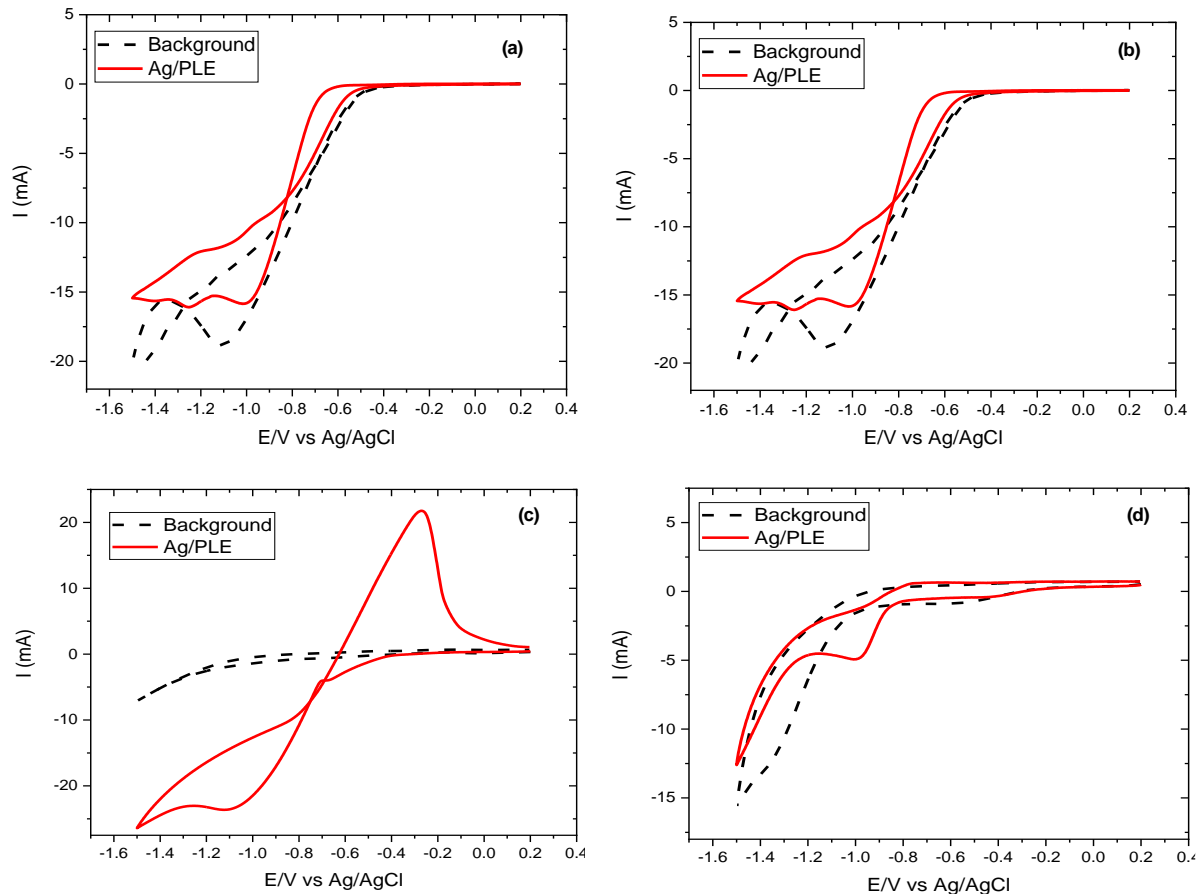


**Gambar 2.** Voltamogram siklik modifikasi PLE dalam larutan ion logam  $\text{Cd}^{2+}$  5mM dan buffer asetat 0,1 M dengan *scan rate* 100 mV/s

Berdasarkan data pada Gambar 2, dapat dilihat bahwa puncak oksidasi ion  $\text{Cd}^{2+}$  muncul pada potensial -0,40 V. Perbedaan respon antara kedua elektroda menunjukkan variasi dalam arus yang terukur pada *pencil lead electrode* (PLE) puncak oksidasi  $\text{Cd}^{2+}$  mungkin lebih rendah dalam hal arus dibandingkan dengan Ag/PLE. Hal ini mengindikasikan sensitivitas yang lebih rendah terhadap ion  $\text{Cd}^{2+}$ . Karena PLE memiliki luas permukaan yang lebih kecil dan tidak memiliki efek katalitik khusus, respons arusnya terhadap oksidasi  $\text{Cd}^{2+}$  cenderung kurang signifikan. Sedangkan pada Ag/PLE, puncak oksidasi ion  $\text{Cd}^{2+}$  menunjukkan arus yang lebih tinggi. Ini disebabkan oleh dua faktor utama yaitu luas permukaan yang lebih besar dan efek elektrokatalitik.

### **Pengaruh Variasi Supporting Electrolyte**

Variasi *supporting electrolyte* dalam deteksi ion  $\text{Cd}^{2+}$  diukur pada larutan  $\text{Cd}^{2+}$  5 mM untuk menguji pengaruh terhadap hasil analisis elektrokimia. *Supporting electrolyte* berfungsi untuk mencegah terjadinya arus yang tidak diinginkan akibat perbedaan konsentrasi ion antara larutan dan permukaan elektroda. Tujuan dari pengukuran ini adalah untuk memastikan bahwa kekuatan larutan ionik serta medan listrik tidak mengganggu reaksi redoks dari analit (Dickinson et al., 2009). Pengaruh dari variasi *supporting electrolyte* dapat dilihat pada Gambar 3.



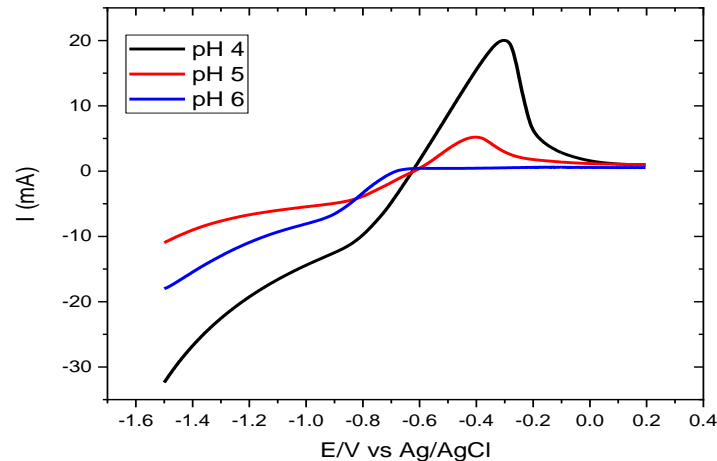
**Gambar 3.** Voltamogram siklik pada Ag/PLE dalam variasi *supporting electrolyte*; (a) HNO<sub>3</sub> 0,1 M; (b) HClO<sub>4</sub> 0,1 M; (c) buffer asetat pH 4; (d) buffer fosfat pH 7 dengan *scan rate* 100 mV/s

Berdasarkan data pada gambar 3, dapat dilihat pengukuran ion logam Cd<sup>2+</sup> paling baik dilakukan memakai buffer asetat pH 4 dengan puncak oksidasi dan reduksi yang diperoleh -0,2720 V dan -1,0840 V. Pada pH larutan asam, ion hidrogen (H<sup>+</sup>) memiliki konsentrasi tinggi, dan proses evolusi hidrogen bisa menjadi kompetitif dengan reaksi reduksi logam seperti ion logam Cd<sup>2+</sup>. Hal ini dapat menyebabkan kemungkinan bahwa arus reduksi Cd menurun karena reaksi evolusi hidrogen bersaing dengan reaksi reduksi Cd. Ini karena H<sup>+</sup> yang tersedia akan lebih cenderung tereduksi menjadi H<sub>2</sub> dibandingkan dengan ion logam Cd<sup>2+</sup> menjadi Cd (Allen J. Bard et al., 2021). Pada buffer posfat ada kemungkinan terjadinya endapan antara ion logam Cd<sup>2+</sup> dengan buffer posfat. Sedangkan pada buffer asetat optimum kemungkinan terjadi endapan antara ion logam Cd<sup>2+</sup> dengan buffer asetat cenderung kecil, dikarenakan asetat biasanya memiliki kecenderungan rendah untuk bereaksi dengan logam dalam kondisi asam dibandingkan dengan pospat atau ion lain yang dapat membentuk endapan lebih mudah (Douglas A. Skoog et al., 2007). Penggunaan buffer asetat juga tampaknya mencegah terjadinya korosi pada elektroda, yang merupakan pertimbangan penting

dalam aplikasi jangka panjang dari sensor ini (M.Fontana et al., 1987). Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan buffer asetat pH 4 sebagai *supporting electrolyte* optimum.

### Pengaruh Variasi pH

Nilai pH *supporting electrolyte* penting untuk kinerja sensor elektrokimia. Pada penelitian ini pH dari *supporting electrolyte* buffer asetat 0.1 M divariasikan dari pH 4, 5, dan 6 kemudian diuji menggunakan LSV dari rentang potensial 0.2 hingga -1.5 Volt dengan *scan rate* 100 mV/s.

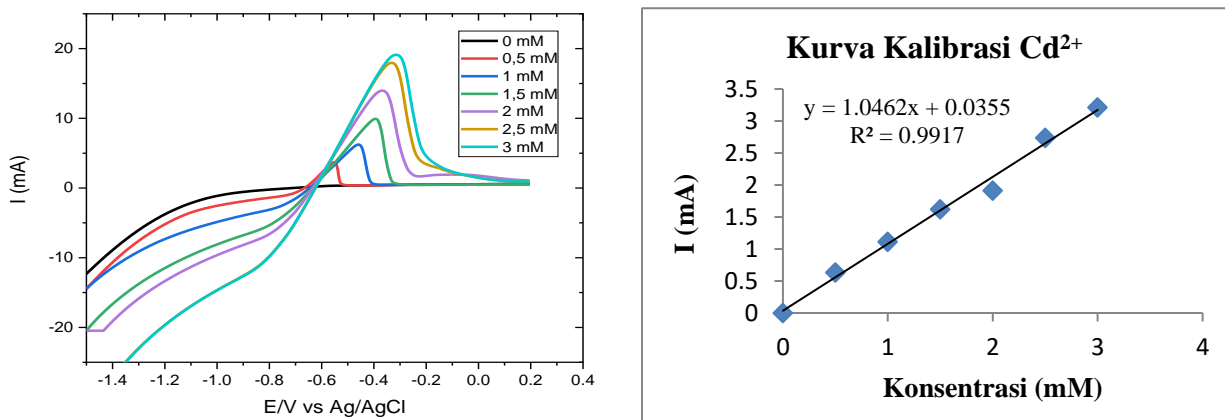


**Gambar 4.** Voltamogram siklik pada Ag/PLE dalam variasi pH dengan *scan rate* 100 mV/s

Kurva voltammogram LSV menunjukkan hubungan antara pH buffer asetat dan arus puncak oksidasi ion Logam Cd<sup>2+</sup> yang terlihat pada gambar. Tercatat bahwa nilai arus puncak maksimum terjadi pada larutan buffer asetat dengan pH 4. Seiring bertambahnya kenaikan pH yang diterapkan pada pengukuran, potensial puncak oksidasi yang diperoleh semakin bergeser ke arah yang lebih negatif seperti ditunjukkan pada gambar 4. Hal ini menunjukkan arus puncak oksidasi sangat bergantung dengan besar pH yang diterapkan pada *supporting electrolyte*. Plot antara arus puncak (*I<sub>pa</sub>*) dan pH mengalami kenaikan secara signifikan pada pH 4. Dapat disimpulkan bahwa buffer asetat dengan pH 4 merupakan pH optimum untuk mendeteksi ion logam Cd<sup>2+</sup> menggunakan elektroda Ag/PLE. Hal ini menunjukkan bahwa respon arus pada pH 4 sebesar 2,1758 mA lebih tinggi dibandingkan arus pada pH 5 dan pH 6. Variasi pH dalam deteksi Cd<sup>2+</sup> memperkuat temuan bahwa pH 4 adalah yang paling optimal untuk penggunaan elektroda Ag/PLE. Pada pH yang lebih tinggi, fenomena hidrolisis ion perak dan penurunan konduktivitas larutan mungkin menjadi penyebab penurunan kinerja deteksi Cd<sup>2+</sup>. Jika pH tinggi menyebabkan ion perak membentuk senyawa yang tidak dapat berkontribusi pada konduktivitas atau proses reduksi, maka ini bisa melemahkan proses reduksi ion Cd<sup>2+</sup> (Allen J. Bard et al., 2021). Hasil ini menunjukkan pentingnya memilih kondisi pH yang tepat untuk memaksimalkan performa sensor, terutama dalam analisis ion logam berat seperti Cd<sup>2+</sup>.

### Kurva Kalibrasi dalam Deteksi Ion $\text{Cd}^{2+}$

Konsentrasi suatu larutan merupakan suatu komponen yang sangat berpengaruh terhadap tinggi dan lebar arus yang dihasilkan selama proses analisis dengan linear sweep voltammetry (Nurazmi, 2020). Melihat terdapat atau tidaknya dampak dari konsentrasi suatu larutan terhadap analisis dalam penelitian ini, maka dilakukan pengujian menggunakan variasi konsentrasi larutan 0 mM hingga 3 mM. Variasi konsentrasi larutan ion logam  $\text{Cd}^{2+}$  tersebut diuji dalam larutan buffer asetat 0.1 M menggunakan potensiostat e-DAQ EA163 pada teknik linear sweep voltammetry dan potensial 0.2 V hingga -1.5 V dengan scan rate 100 mV/s. Hasil voltammogram dapat dilihat pada gambar 5



**Gambar 5.** Voltammogram siklik pada Ag/PLE dalam kurva kalibrasi dengan scan rate 100 mV/s

Berdasarkan data pada gambar 5 menunjukkan hubungan yang linear antara arus dan konsentrasi ion  $\text{Cd}^{2+}$  dimana semakin tinggi konsentrasi ion logam  $\text{Cd}^{2+}$  yang digunakan maka densitas arus yang didapatkan juga akan semakin tinggi. Penentuan kurva kalibrasi menunjukkan bahwa ada hubungan linear yang kuat antara konsentrasi  $\text{Cd}^{2+}$  dan arus puncak oksidasi, dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,9917. Ini menunjukkan bahwa metode yang digunakan sangat andal dan dapat diandalkan untuk analisis kuantitatif  $\text{Cd}^{2+}$  dalam sampel. LoD (Limit of Detection) yang diperoleh sebesar 0,29 mM juga menunjukkan sensitivitas yang tinggi dari elektroda yang telah dimodifikasi, yang merupakan indikator penting dari keberhasilan metode ini.

### Kesimpulan

Pada penelitian ini, elektroda PLE yang dimodifikasi dengan lapisan tipis perak (Ag/PLE) secara elektrodposisi digunakan untuk mendeteksi ion logam  $\text{Cd}^{2+}$ .

Elektroda Ag/PLE menunjukkan hasil yang lebih baik dalam mendeteksi ion logam  $\text{Cd}^{2+}$  karena luas permukaan yang besar dan efek elektrokatalitik dibandingkan dengan elektroda PLE. Elektroda Ag/PLE diuji berdasarkan pengaruh variasi *supporting electrolyte* dan pH *supporting electrolyte* menggunakan voltametri siklik dan *linear sweep voltammetry* (LSV) yang menunjukkan hasil optimum dari pengukuran ion logam  $\text{Cd}^{2+}$  menggunakan larutan buffer asetat pH 4. Pengukuran ion logam  $\text{Cd}^{2+}$  menggunakan Ag/PLE pada kondisi optimum memberikan nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) sebesar 0,9917 yang menunjukkan hubungan linear yang sangat kuat antara konsentrasi  $\text{Cd}^{2+}$  dan respons arus. Demikian pula, limit deteksi (LoD) 0,29 mM menunjukkan sensitivitas yang baik.

## Daftar Referensi

- Afifah, R., & Sari, T. K. (2024). Pengaruh Supporting Electrolyte Terhadap Deteksi Ion Logam  $\text{Pb}^{2+}$  Menggunakan Pencil Lead Electrode Termodifikasi Lapisan Tipis Perak dengan Metode .... *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 8, 17970–17976. <https://jptam.org/index.php/jptam/article/view/14938><https://jptam.org/index.php/jptam/article/download/14938/11406>
- Allen J. Bard dan Larry R. Faulkner. (2001). *Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications*
- David, I. G., Popa, D. E., & Buleandra, M. (2017). Pencil graphite electrodes: A versatile tool in electroanalysis. In *Journal of Analytical Methods in Chemistry* (Vol. 2017). Hindawi Limited. <https://doi.org/10.1155/2017/1905968>
- Dickinson, E. J. F., Limon-Petersen, J. G., Rees, N. V., & Compton, R. G. (2009). How much supporting electrolyte is required to make a cyclic voltammetry experiment quantitatively —diffusionall? A theoretical and experimental investigation. *Journal of Physical Chemistry C*, 113(25), 11157–11171. <https://doi.org/10.1021/jp901628h>
- Douglas A. Skoog, F. James Holler, Stanley R. Crouch. (2007). *Principles of Instrumental Analysis*
- Kumala Sari, T., Riga, R., & Zubir, M. (2021). Pencil Lead Electrode Modified with Gold Thin Layer for Voltammetric Detection of Chromium(VI). *Eksakta*, 22, 145–153. <http://www.eksakta.ppj.unp.ac.id/index.php/eksakta>
- Marzuki, N. I., Bakar, F. A., Salleh, A. B., Heng, L. Y., Yusof, N. A., & Siddiquee, S. (2012). Development of electrochemical biosensor for formaldehyde determination based on immobilized enzyme. *International Journal of Electrochemical Science*, 7(7), 6070–6081. [https://doi.org/10.1016/s1452-3981\(23\)19462-4](https://doi.org/10.1016/s1452-3981(23)19462-4)
- M. Fontana and N. Greene, “Mars Fontana-Corrosion Engineering ([www.iranidata.com](http://www.iranidata.com)).pdf.”p.nationalll, 1987

- N. Elgrishi, K. J. Rountree, B. D. McCarthy, E. S. Rountree, T. T. Eisenhart, and J. L. Dempsey, "A Practical Beginner's Guide to Cyclic Voltammetry," *J. Chem. Educ.*, vol. 95, no. 2, pp. 197-206, 2018, doi:10.1021/acs.jchemed.7b00361
- Palisoc, S., Lee, E. T., Natividad, M., & Racines, L. (2018). Silver nanoparticle modified graphene paste electrode for the electrochemical detection of lead, cadmium and copper. *International Journal of Electrochemical Science*, 13(9), 8854–8866. <https://doi.org/10.20964/2018.09.03>
- Phal, S., Nguyen, H., Berisha, A., & Tesfalidet, S. (2021). In situ Bi/Carboxyphenyl-Modified Glassy Carbon Electrode as a Sensor Platform for Detection of Cd<sup>2+</sup> dan Pb<sup>2+</sup> using Square Wave Anodic Stripping Voltametry. *Sensing and Biosensing Research*. <https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2021.100455>
- Safavi, A., Maleki, N., & Farjami, E. (2009). Electrodeposited silver nanoparticles on carbon ionic liquid electrode for electrocatalytic sensing of hydrogen peroxide. *Electroanalysis*, 21(13), 1533–1538. <https://doi.org/10.1002/elan.200804577>
- Sarvestani, M. R. J., Madrakian, T., & Afkhami, A. (2023). Simultaneous electrochemical determination of Pb<sup>2+</sup> and Cd<sup>2+</sup> ions in food samples by a silver nanoparticle-COF composite modified glassy carbon electrode. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 3505–3514. <https://doi.org/10.1007/s11694-023-01880-1>
- Shamspur, T., Sheikhshoaie, I., & Mashhadizadeh, M. H. (2005). Flame atomic absorption spectroscopy (FAAS) determination of iron(III) after preconcentration on to modified analcime zeolite with 5-((4- nitrophenylazo)-N-(2',4'-dimethoxyphenyl))salicylaldimine by column method. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 20(5), 476–478.