

# Pencil Lead Electrode Modifikasi Lapisan Tipis Emas Untuk Deteksi Formaldehida Secara Voltametri Siklik

Tasya Malinda<sup>1</sup>, Trisna Kumala Sari\*<sup>2</sup>, Edi Nasra<sup>3</sup>, Fajriah Azra<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang  
Jln. Prof Hamka Air Tawar Barat Padang, Indonesia

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

**Abstract.** Formaldehyde is a toxic, carcinogenic, mutagenic and genotoxic compound that can harm the human body. Formaldehyde can threaten human health such as, can cause eye, nose and throat irritation and contact dermatitis on the skin. This research aims to study the response of pencil lead electrode (PLE) and pencil lead electrode (PLE) modification with gold thin layer in the development of formaldehyde sensor by using cyclic voltammetry. The electrode modification was done by potential-sweeping electrodeposition of Au on electrode and known as Au/PLE electrode. The resulting electrode has high conductivity and excellent catalytic activity because it is able to provide a large current response. In this study, the optimum conditions will be determined based on variations supporting electrolyte and cycle gold thin layer electrodeposition. Variations in supporting electrolyte and cycle for gold thin layer electrodeposition on the formaldehyde sensor give different peak current and potential results. KOH 0,1 M is supporting electrolyte optimum and cycle for gold thin layer electrodeposition optimum is one cycle.

**Keywords:** Formaldehyde, Pencil Lead Electrode, Gold Thin Layer, Cyclic Voltammetry

## I. PENDAHULUAN

Formaldehida (HCHO) adalah senyawa karsinogenik *volatile organic compound* (VOC), dimana telah banyak digunakan dalam bahan rumah tangga, perekat kimia dan komposit berbahan dasar kayu. Formaldehida bersifat anti korosi, memperpanjang masa penyimpanan, meningkatkan kapasitas menahan air dan lainnya. Namun formaldehida dapat mengancam kesehatan manusia. Menurut *International Agency for Research on Cancer* (IARC) apabila seseorang terpapar formaldehida terus menerus dapat menyebabkan timbulnya masalah kesehatan seperti iritasi saluran pernapasan, asma, dermatitis kontak dan lainnya. *Environmental Protection Agency* (EPA) menetapkan kadar formaldehida yang boleh masuk ke dalam tubuh setiap harinya sebesar 0,2 mg kg<sup>-1</sup> per hari [1].

Formaldehida perlu dibatasi penggunaannya karena efek samping dari genotoksik, karsinogenik dan mutagenik yang dapat membahayakan tubuh manusia. Maka dari itu diperlukan metode yang sangat akurat, cepat dan efektif untuk mengetahui kadar formaldehida. Berbagai metode analitik telah dilakukan untuk penentuan formaldehida seperti kromatografi cair kinerja tinggi (HPLC) [2], kromatografi gas spektrofotometri massa [3], *Surface-Enhanced Raman Spectroscopy* (SERS) [4] dan lainnya. Metode ini memberikan hasil yang sensitif, tepat dan efektif. Namun, metode tersebut memakan waktu yang lama, biaya yang mahal, prosedur yang rumit, membutuhkan banyak reagen serta membutuhkan alat yang canggih [5].

Berdasarkan hal tersebut, maka ditawarkan metode elektrokimia dimana metode ini lebih sederhana, lebih murah dan lebih cepat. Sistem kerja metode elektrokimia didasarkan pada reaksi redoks yang menggabungkan proses oksidasi dan reduksi. Reaksi dilakukan pada elektroda yang sama maupun berbeda. Sistem elektrokimia terbentuk melalui reaksi elektrokimia yang ditimbulkan oleh sel elektrokimia. Metode elektrokimia untuk deteksi formaldehida sudah pernah dilakukan dengan berbagai elektroda diantaranya menggunakan *Glassy Carbon Electrode* (GCE) modifikasi nanopartikel AuNPs@Ppy [5], *Screen Printed Carbon Electrode* (SPCE) modifikasi nanokomposit Cu/porous silicon [6] dan *Carbon Paste Electrode* (CPE) modifikasi bimetal nanopori Pd-Cu-SBA-16 [7].

Berdasarkan uraian diatas, penelitian ini pertama kalinya mengembangkan sensor formaldehida menggunakan *pencil lead electrode* (PLE) modifikasi dengan lapisan tipis emas secara voltametri. Optimasi parameter *cycle* elektrodeposisi lapisan tipis emas dan *supporting electrolyte* diuji secara voltametri siklik. *Pencil lead electrode* (PLE) memiliki keunggulan seperti reaktivitas elektrokimia yang tinggi, rendah biaya, teknologi rendah dan arus latar rendah.

Disisi lain, lapisan tipis emas memiliki sifat elektronik dan plasmonik yang menarik untuk berbagai pengaplikasian [8]. Lapisan tipis emas sering digunakan dalam penelitian karena memiliki resolusi sensor yang tinggi dan kestabilan kimia yang baik [9]. Lapisan tipis emas memiliki teknologi yang luas, dan berfungsi sebagai platform untuk memodifikasi permukaan elektroda [10].

Metode elektrodeposisi pada modifikasi elektroda dengan lapisan tipis emas merupakan metode yang sangat menarik dimana metode ini tidak memerlukan reagen yang banyak, sederhana, mudah dan cepat. Efek elektrokatalitik emas pada permukaan elektroda dapat meningkatkan arus puncak [11].

## II. METODE PENELITIAN

### A. Alat dan Bahan

Alat yang dipakai pada penelitian ini ialah potensiostat e-DAQ model EA163, komputer/laptop, *working electrode*; *pencil lead electrode* merk debozz (0,9 mm, 2B), *counter electrode*; platina, *reference electrode*; Ag/AgCl, *teflon tube*, neraca analitik, *hot plate*, pH meter, kertas saring, *micro pipet*, sel elektrokimia, peralatan gelas dan tisu.

Bahan yang dipakai pada penelitian ini ialah formaldehida (Merck), H.AuCl<sub>4</sub>.3H<sub>2</sub>O (*jinan future chemical china*), KCl (Merck), K<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>] (Merck), KNO<sub>3</sub> (Merck), KOH (Merck) dan aquades.

### B. Preparasi Pencil Lead Electrode (PLE)

Elektroda PLE dibuat dengan cara memasukkan PLE ke dalam *Teflon tube*. Kemudian PLE dipoles dengan kertas saring dan dibilas dengan aquades [11].

### C. Preparasi PLE Modifikasi Lapisan Tipis Emas Secara Elektrodeposisi

Elektroda PLE dimodifikasi lapisan tipis emas secara elektrodeposisi *sweeping potential* dilakukan dengan mencelupkan elektroda dalam 0,05 mM H.AuCl<sub>4</sub>.3H<sub>2</sub>O dan 0,1 M KCl secara satu siklus. Analisis elektroda secara voltametri siklik menggunakan potensiostat e-DAQ model EA163 secara voltametri siklik dengan potensial 0 V hingga 1,2 V dan *scan rate* 100 mV/s [11].

### D. Electrochemical Behavior elektroda PLE dan elektroda Au/PLE

#### 1. Voltametri siklik K<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>]

Analisis keefektifan elektroda PLE dan Au/PLE secara voltametri siklik dengan memasukkan 1 M KNO<sub>3</sub> dan 2 mM K<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>] ke dalam sel elektrokimia, kemudian celupkan *working electrode* (WE), *reference electrode* (RE) dan *counter electrode* (CE). Analisis menggunakan potensiostat e-DAQ model EA 163 dengan rentang potensial 1 V hingga -1 V dengan *scanrate* 100 mV/s [13].

#### 2. Voltametri siklik dari formaldehida

Analisis kesensitifan dari elektroda PLE dan Au/PLE sebagai elektroda kerja dilakukan dengan mengisi 0,1 M larutan *supporting electrolyte* KOH 0,1 M dan 1 mM formaldehida ke dalam sel elektrokimia kemudian masukkan WE, CE dan RE. Analisis menggunakan potensiostat e-DAQ model EA 163 dengan rentang potensial -1 V hingga 1 V, dengan *scan rate* 100 mV/s secara voltametri siklik.

### E. Optimasi Sensor Formaldehida Menggunakan Elektroda Au/PLE

#### 1. Variasi *supporting electrolyte* (0,1 M KOH, 0,1 M HNO<sub>3</sub> dan 0,1 M *buffer phosphate*)

Masukkan 0,1 M larutan *supporting electrolyte* ke dalam sel elektrokimia kemudian tambahkan 1 mM formaldehida serta celupkan *working electrode* (WE), *reference electrode* (RE) dan *counter electrode* (CE). Analisis secara voltametri siklik menggunakan potensiostat e-DAQ model EA163 pada rentang potensial -1 V hingga 1 V dan *scan rate* 100 mV/s [11]. Voltammogram akan terlihat pada komputer/laptop. Kemudian pilih *supporting electrolyte* yang optimum.

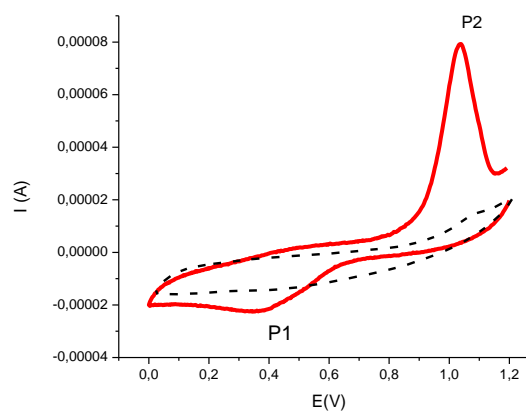
#### 2. Variasi banyaknya *cycle elektrodeposisi lapisan tipis emas dengan metode voltametri siklik pada deteksi formaldehida*

Deteksi formaldehida menggunakan elektroda Au/PLE dengan berbagai variasi *cycle* pada tahap elektrodeposisi lapisan tipis emas diantaranya 1 *cycle*, 5 *cycle* dan 10 *cycle* dilakukan dengan mengisi 0,1 M larutan *supporting electrolyte* KOH dan 1 mM formaldehida ke dalam sel elektrokimia dan masukkan ketiga elektroda. Analisis menggunakan potensiostat e-DAQ model EA163 secara voltametri siklik pada rentang potensial -1V hingga 1 V dengan *scan rate* 100 mV/s. Voltammogram akan terlihat pada komputer/laptop. Kemudian pilih *cycle elektrodeposisi lapisan tipis emas* yang optimum.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

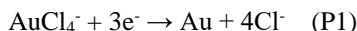
### A. Preparasi *pencil lead electrode* (PLE) modifikasi dengan lapisan tipis emas

Sebelum Au/PLE digunakan sebagai elektroda kerja pada sensor formaldehida, elektroda Au/PLE dikarakterisasi terlebih dahulu menggunakan potensiostat e-DAQ model EA163 secara voltametri siklik pada rentang potensial 0 V hingga 1,2 V dengan *scan rate* 100 mV/s. Berikut voltammogram yang dihasilkan



Gambar 1. Voltametri siklik modifikasi PLE dalam 0,05 mM H.AuCl<sub>4</sub>.3H<sub>2</sub>O dan 1 M KCl

Gambar 1 memperlihatkan bagaimana puncak anodik dan katodik dari Au/PLE

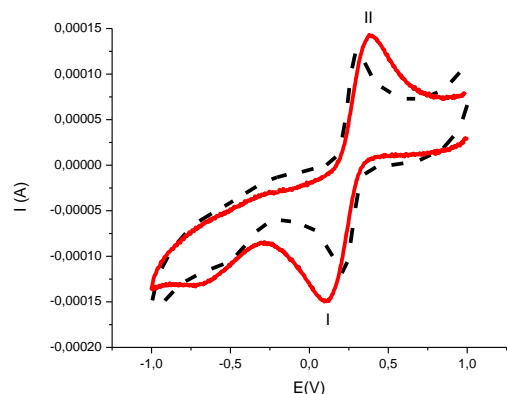
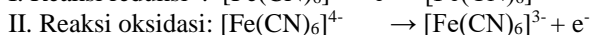


Puncak reduksi (P1) pada potensial 0,4 V dan  $I_p$  21,96  $\mu\text{A}$ . Sedangkan puncak oksidasi (P2) pada potensial 1,0360 V dan  $I_p$  85,17  $\mu\text{A}$ . Puncak redoks lapisan tipis Au yang muncul mengkonfirmasi bahwa Au terelektrodeposisi pada permukaan elektroda.

**B. Analisis elektrokimia pada elektroda pencil lead electrode (PLE) dan Au/PLE**

**1. Voltametri siklik  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$**

Elektroda PLE dan Au/PLE dikarakterisasi terlebih dahulu secara elektrokimia dalam 1 M  $\text{KNO}_3$  dan 2 mM larutan  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  untuk menentukan nilai area aktif permukaan elektroda. Karakterisasi dilakukan dengan mengukur potensial redoks dari  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ . Seperti yang terlihat pada gambar 2 dan reaksi berikut.



Gambar 2. Voltammogram siklik elektroda PLE (--) dan elektroda Au/PLE (garis merah) dalam 2 mM  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  dan 1 M  $\text{KNO}_3$ , scanrate 100 mV/s.

Respon voltametri siklik pada kedua elektroda berupa *a quasi-reversible* pada redoks  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}/[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$  (Epa-Epc) PLE sebesar 0,292 V dan Au/PLE sebesar 0,102 V. Nilai  $I_{pa}$  PLE pada penelitian ini diperoleh sebesar 100,42  $\mu\text{A}$  dan  $E_{pa}$  0,3960 V,  $I_{pc}$  101,95  $\mu\text{A}$  dan  $E_{pc}$  0,1040 V. Sedangkan pada Au/PLE  $I_{pa}$  pada penelitian ini diperoleh sebesar  $I_{pa}$  101,50  $\mu\text{A}$  dan  $E_{pa}$  0,3080 V,  $I_{pc}$  94,27  $\mu\text{A}$  dan  $E_{pc}$  0,2000 V. Luas permukaan efektif elektroda Au/PLE dibandingkan dengan elektroda PLE dipelajari dengan voltametri siklik dalam 2 mM  $[\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6]$ . Puncak reduksi dan oksidasi yang terdefinisi dengan baik dilakukan pada 1 V hingga -1 V. Au/PLE menunjukkan elektroaktif tinggi berdasarkan persamaan Randles-Servik:

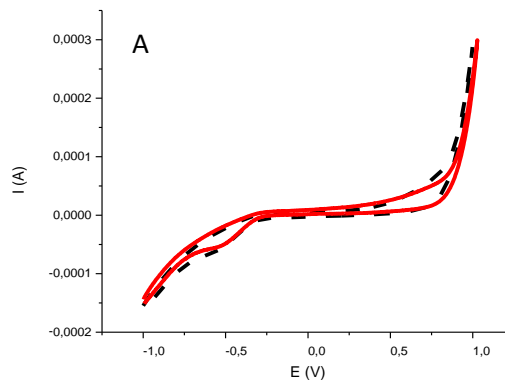
$$I_p = 2,69 \times 10^5 \text{ AD}^{1/2} \text{ n}^{3/2} \text{ v}^{3/2} \text{ C}$$

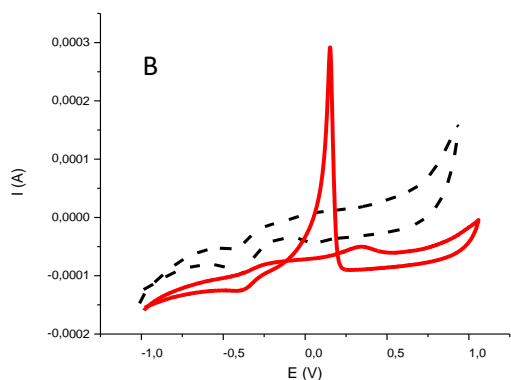
Dimana  $I_p$  adalah arus puncak, n adalah jumlah elektron yang ditransfer ( $n=1$ ), A adalah luas permukaan elektrokimia atau luas permukaan efektif, D adalah koefisien difusi  $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$  diambil sebesar  $6,057 \times 10^{-6} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$  [13] v adalah scan rate ( $\text{Vs}^{-1}$ ) 0,1 V/s dan C adalah konsentrasi ( $\text{mol cm}^{-3}$ ). Luas permukaan PLE dan Au/PLE adalah 0,240  $\text{cm}^2$  dan 0,2439  $\text{cm}^2$  arus farraday ( $96485,34 \text{ C mol}^{-1}$ ). Arus puncak dari Au/PLE lebih tinggi dikarenakan kinetika elektroda meningkat pada Au/PLE [11].

**2. Voltametri siklik dari formaldehida**

Analisis voltametri siklik dari 1 mM formaldehida diukur dengan PLE dan Au/PLE dalam 0,1 M KOH pada potensial -1 V hingga 1 V, scan rate 100 mV/s. Pada hasil menggunakan elektroda PLE (3a) voltammogram yang dihasilkan tidak memberikan respon setelah ditambah formaldehida. Sedangkan pada elektroda Au/PLE (3b) elektrooksidasi katalitik formaldehida pada elektroda Au/PLE menghasilkan puncak oksidasi. Puncak oksidasi formaldehida pada elektroda Au/PLE (3b) memberikan hasil voltammogram puncak oksidasi kuat yang muncul pada potensial 0,2960 V pada forward scan dan potensial 0,1280V pada reverse scan. Hal ini menunjukkan bahwa elektroda Au/PLE memiliki aktivitas elektokatalitik yang kuat dibanding dengan elektroda PLE [11].

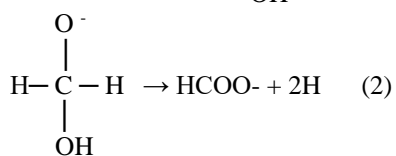
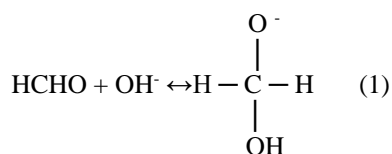
Au/PLE membentuk area permukaan elektroda yang luas dan menyebabkan banyaknya sisi aktif lapisan tipis emas pada elektroda. Lapisan tipis emas yang ada pada elektroda Au/PLE inilah yang menyebabkan elektroda memiliki kemampuan adsorpsi yang kuat dan efisiensi katalitik yang tinggi. Hal tersebut juga menyebabkan imobilisasi formaldehida memberikan respon sinyal arus yang tinggi, akibat interaksi dari formaldehida dan substrat pada sel elektrokimia [12].





Gambar 3. Voltammogram siklik PLE dan Au/PLE dalam formaldehida (a) PLE (b) Au/PLE, scan rate 100 mV/s.

Oksidasi formaldehida yang terjadi pada elektroda dijelaskan pada urutan reaksi berikut:



Reaksi oksidasi formaldehida melibatkan pembentukan diol geminal anion dalam larutan yang mana mengalami oksidasi secara elektrokimia menghasilkan ion format. Evolusi hidrogen pada elektroda Au/PLE dapat diamati selama proses reaksi dimana menunjukkan bahwa hidrogen tidak teroksidasi oleh reaksi (3). Beberapa  $\text{H}_{\text{ad}}$  bergabung kembali menjadi molekul hidrogen.



Tidak ada zat intermediet yang terikat kuat yang terbentuk dalam oksidasi formaldehida menurut reaksi (1) - (4) yang merupakan salah satu asal mula ketidakpekaan struktural. Puncak ini tidak terlihat tanpa adanya formaldehida dalam larutan pada (garis putus-putus). Oksidasi formaldehida pada elektroda Au/PLE merupakan perilaku yang menarik dari reaksi katalitik, yang menunjukkan sensitivitas struktural. Hal ini menunjukkan interaksi yang kuat dari molekul ini dengan permukaan elektroda yang khas untuk reaksi elektrokatalitik [13].

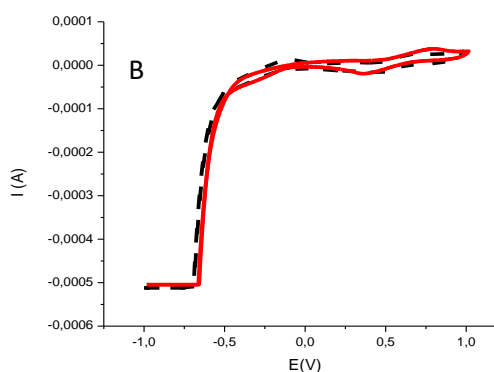
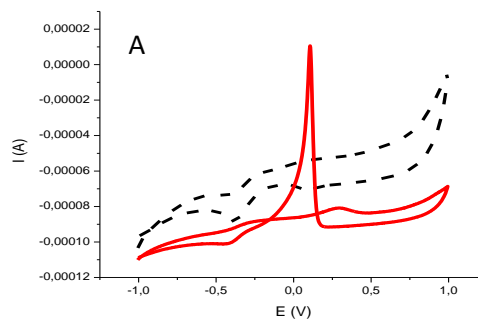
### C. Optimasi sensor Au/PLE dalam penentuan formaldehida

#### 1. Variasi supporting electrolyte (0,1 M KOH, 0,1 M $\text{HNO}_3$ dan 0,1 M Buffer phosphate)

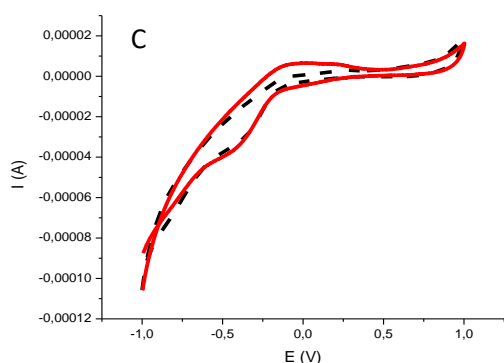
Larutan *supporting electrolyte* digunakan dengan tujuan untuk mengurangi hambatan dari larutan, meningkatkan konduktivitas dan mengontrol potensial selama penelitian guna mengurangi efek migrasi elektron [14]. Penentuan 0,1 M *supporting electrolyte* optimum dilakukan dengan membandingkan arus puncak dari ketiga larutan *supporting electrolyte* pilihan seperti yang terlihat pada gambar 4. Larutan 0,1 M *supporting electrolyte* optimum bertujuan sebagai pendukung jalannya reaksi redoks pada sel elektrokimia [14].

Berdasarkan gambar 4 terlihat perbandingan hasil voltammogram siklik sebelum ditambah analit (garis putus-putus) dan setelah ditambah analit formaldehida (garis merah). Gambar 4(a) menunjukkan hasil voltammogram 0,1 M KOH sebelum ditambah 1 mM formaldehida tidak terjadi arus puncak anodik sedangkan setelah adanya penambahan formaldehida terjadi kenaikan arus puncak anodik yang sangat signifikan pada potensial -1V hingga 1V. puncak arus yang terbaca merupakan puncak arus redoks dari formaldehida.

Pada gambar 4(b) terlihat bahwa larutan *supporting electrolyte* 0,1 M  $\text{HNO}_3$  tidak terbentuk arus puncak redoks begitu juga setelah ditambahkan 1 mM formaldehida. Hal yang sama juga terjadi pada larutan *supporting electrolyte* 0,1 M buffer phosphate gambar 4(c). Larutan *supporting electrolyte* KOH 0,1 M memberikan respon arus puncak redoks yang tajam dalam penentuan formaldehida, hal ini terjadi karena dalam larutan basa aldehida membentuk anion geminal diol dalam adisi nukleofilik hidroksida reversible ke gugus karbonil [13].

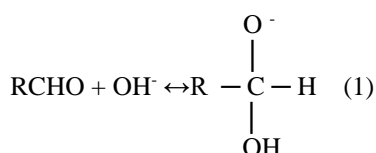






Gambar 4. Voltammogram variasi *supporting electrolyte* (a) 0,1 M KOH, (b) 0,1 M HNO<sub>3</sub>, (c) 0,1 M Buffer *phosphate*, scan rate 100 mV/s.

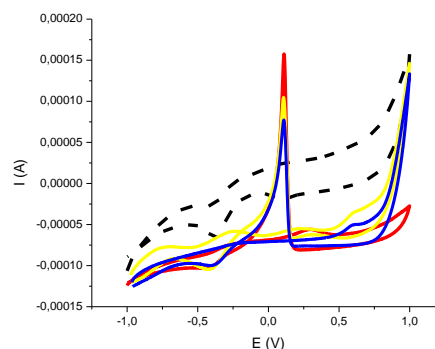
Pada media basa ini juga diol geminal dihasilkan dalam elektrooksidasi formaldehida [15].



Aldehida teroksidasi dalam proses ireversibel dua elektron menjadi karboksilat yang sesuai. Kemisoprsi OH pada elektroda Au/PLE menunjukkan sensitivitas struktural yang nyata. Berdasarkan penjelasan tersebut maka 0,1 M KOH merupakan larutan *supporting electrolyte* optimum dalam pengembangan sensor formaldehida dan dipakai untuk proses analisis selanjutnya.

## 2. Variasi *cycle* elektrodeposisi lapisan tipis emas dengan metode voltametri siklik

Untuk menyelidiki respon elektroda Au/PLE maka dilakukan variasi *cycle* elektrodeposisi lapisan tipis emas. Variasi ini dilakukan dengan 1 *cycle*, 5 *cycle* dan 10 *cycle*. Pada rentang potensial 0 V hingga 1,2 V dengan *scan rate* 100 mV/s. Setelah itu elektroda Au/PLE dipakai untuk penentuan formaldehida 1 mM. Hasil pengukuran sensor formaldehida dapat dilihat gambar 5. Elektroda Au/PLE tidak hanya menunjukkan sensitivitas yang baik tetapi juga stabilitasnya terhadap oksidasi formaldehida. Saat analisis terlihat dengan jelas elektroda Au/PLE terdegradasi secara sempurna selama pemindaian dan elektroda benar-benar dipasivasi dalam artian elektroda yang digunakan menjadi inert atau pasif (tidak lagi mudah terkorosi [16]).



Gambar 5. Voltammogram variasi *cycle* elektrodeposisi lapisan tipis emas, 1 (garis merah), 5 (garis kuning) dan 10 (garis biru)

Berdasarkan gambar tersebut terlihat bahwa semakin besar jumlah *cycle* elektrodeposisi lapisan tipis emas yang digunakan maka akan menghasilkan puncak yang semakin rendah dan menyebabkan stabilitas yang kurang baik. Jumlah *cycle* selama proses elektrodeposisi elektroda Au/PLE berpengaruh terhadap sensitivitas dan stabilitas. Variasi *cycle* optimum pada analisis ini adalah 1 *cycle*. Dimana pada *cycle* elektrodeposisi lapisan tipis emas ini menunjukkan voltammogram yang lebih konstan serta terlihat dengan jelas arus puncak oksidasi formaldehida.

Semakin banyak *cycle* elektrodeposisi lapisan tipis emas yang dipakai maka akan mengurangi sifat elektrokatalitik pada elektroda sehingga menyebabkan sisi pengenalan analit berkurang [17]. Hal inilah yang menyebabkan 5 dan 10 *cycles* mengalami penurunan arus puncak. Karena jumlah *cycle* elektrodeposisi lapisan tipis emas yang terlalu besar dapat menyebabkan formaldehida yang terbentuk di permukaan semakin lebar [18].

## IV. KESIMPULAN

*Pencil Lead Electrode* (PLE) rmodifikasi lapisan tipis emas dipakai untuk deteksi voltametri formaldehida tanpa proses prakonsentrasi. Elektroda Au/PLE menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan elektroda PLE untuk deteksi formaldehida. Peningkatan sensitivitas ini terjadi akibat sifat elektrokatalitik dari lapisan tipis emas yang dideposisikan pada permukaan pensil. Larutan *supporting electrolyte* yang optimum untuk deteksi formaldehida adalah 0,1 M KOH karena memberikan hasil arus puncak oksidasi yang tinggi dan besar. Sedangkan *cycle* elektrodeposisi lapisan tipis emas optimum untuk deteksi formaldehida ialah 1 *cycle* karena pada *cycle* tersebut memperoleh hasil yang lebih baik dan lebih tinggi.

## REFERENSI

- [1] Pinto, G. F., Rocha, D. P., Richter, E. M., Muñoz, R. A. A., & Silva, S. G. (2019). Indirect determination of formaldehyde by square-wave voltammetry based on the electrochemical oxidation of 3,5-diacetyl-1,4-dihydrolutidine using an unmodified glassy-carbon electrode. *Talanta*, 198(November 2018), 237–241. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2019.01.108>
- [2] Wahed, P., Razzaq, M. A., Dharmapuri, S., & Corrales, M. (2016). Determination of formaldehyde in food and feed by an in-house validated HPLC method. *Food Chemistry*, 202, 476–483.

- <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.136>
- [3] Beigi, A. A. M., & Shamsipur, M. (2019). Biochemistry Method: *Simultaneous determination of formaldehyde and methyl tert-butyl ether in environmental and human biological matrices using static headspace gas chromatography mass spectrometry*. Analytical Methods in Environmental Chemistry Journal, 2(1), 33–42.
- [4] Ma, P., Liang, F., Wang, D., Yang, Q., Ding, Y., Yu, Y., Gao, D., Song, D., & Wang, X. (2015). *Ultrasensitive determination of formaldehyde in environmental waters and food samples after derivatization and using silver nanoparticle assisted SERS*. Microchimica Acta, 182(3–4), 863–869. <https://doi.org/10.1007/s00604-014-1400-9>
- [5] Xi, H., Chen, X., Cao, Y., Xu, J., Ye, C., Deng, D., Zhang, J., & Huang, G. (2020). Electrochemical determination of formaldehyde via reduced AuNPs@PPy composites modified electrode. *Microchemical Journal*, 156. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.104846>
- [6] Hajilari, F., Farhadi, K., Eskandari, H., & Allahnouri, F. (2020). *Application of Cu/porous silicon nanocomposite screen printed sensor for the determination of formaldehyde*. Electrochimica Acta, 355. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2020.136751>
- [7] Kaviani, S., Azizi, S. N., & Ghasemi, S. (2017). *Novel bimetallic nanoporous Pd-Cu-SBA-16/CPE as a highly sensitive sensor for determination of formaldehyde*. Journal of Electroanalytical Chemistry, 799, 308–314.
- [8] Mäkelä, M., Hatanpää, T., Mizohata, K., Räsänen, J., Ritala, M., & Leskelä, M. (2017). Thermal Atomic Layer Deposition of Continuous and Highly Conducting Gold Thin Films. *Chemistry of Materials*, 29(14), 6130–6136. <https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.7b02167>
- [9] Mayasari, R. D., Sari, A. N., Mulyono, A. E., Budi, A. S., & Nuryadi, R. (2020). Pengamatan Surface Plasmon Resonance pada ZnO Nanorods dengan Menggunakan Konfigurasi Prisma/Au/ZnO. *Jurnal Fisika Indonesia*, 23(1), 27. <https://doi.org/10.22146/jfi.v23i1.27772>
- [10] Whelan, J. C., Karawdeniya, B. I., Bandara, Y. M. N. D. Y., Velleco, B. D., Masterson, C. M., & Dwyer, J. R. (2015). Erratum: Electroless Plating of Thin Gold Films Directly onto Silicon Nitride Thin Films and into Micropores(2014, 6 (14), 10952-10957). *ACS Applied Materials and Interfaces*, 7(46), 26004–26004. <https://doi.org/10.1021/acsami.5b09596>
- [11] Sari, T. K., Riga, R., Zubir, M. *Pencil Lead Electrode Modified with Gold Thin Layer for Voltammetric Detection of Chromium(VI)*. (2021). Eksakta. 22(02), 145–153.
- [12] Aini, B. N., Siddiquee, S., & Ampon, K. (2016). Development of formaldehyde biosensor for determination of formalin in fish samples; malabar red snapper (*Lutjanus malabaricus*) and longtail tuna (*Thunnus tonggol*). *Biosensors*, 6(3). <https://doi.org/10.3390/bios6030032>
- [13] Adžić, R. R., Avramov-Ivić, M. I., & Tripković, A. V. (1984). Structural effects in electrocatalysis: oxidation of formaldehyde on gold and platinum single crystal electrodes in alkaline solution. *Electrochimica Acta*, 29(10), 1353–1357. [https://doi.org/10.1016/0013-4686\(84\)87010-3](https://doi.org/10.1016/0013-4686(84)87010-3)
- [14] Siswoyo, & Zulfikar. (2007). *Pengembangan Sensor Voltametri N2O dengan Optimalisasi Polarisasi Elektroda dan Konsentrasi Elektrolit Menggunakan Konsentrasi Elektrolit*. Skripsi, 1–62.
- [15] Zhang, J., Shangguan, L., & Dong, C. (2013). Electrocatalytic oxidation of formaldehyde and formic acid at Pd nanoparticles modified glassy carbon electrode. *Micro and Nano Letters*, 8(10), 704–708. <https://doi.org/10.1049/mnl.2013.0186>
- [16] Tsai, M. C., & Chen, P. Y. (2008). Voltammetric study and electrochemical detection of hexavalent chromium at gold nanoparticle-electrodeposited indium tin oxide (ITO) electrodes in acidic media. *Talanta*, 76(3), 533–539. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2008.03.043>
- [17] Özcan, L., & Şahin, Y. (2007). *Determination of paracetamol based on electropolymerized-molecularly imprinted polypyrrole modified pencil graphite electrode*. Sensors and Actuators, B: Chemical, 127(2), 362–369. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2007.04.034>
- [18] Lin, Y., Liu, K., Liu, C., Yin, L., Kang, Q., Li, L., & Li, B. (2014). Electrochemical sensing of bisphenol A based on polyglutamic acid/amino-functionalised carbon nanotubes nanocomposite. *Electrochimica Acta*, 133, 492–500. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2014.04.095>