

Deteksi Formaldehida Menggunakan *Glassy Carbon Electrode* (GCE) Termodifikasi Lapisan Tipis Emas Secara Voltametri Siklik

Indah Kemala Maharani¹, Trisna Kumala Sari*², Indang Dewata³, Sherly Kasuma Warda Ningsih⁴,
Romy Dwipa Yamesa Away⁵

^{1,2,3,4,5}Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang
Jln. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar Barat, Padang, Indonesia

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

Abstract — The formaldehyde was found as one of the toxic and mutagenic products. Long-term exposure will harm the health of the human body. This study aims to detect formaldehyde developed on an electrochemical sensor using Glassy Carbon Electrode (GCE) modified with a thin layer of gold as the working electrode by cyclic voltammetry. Electrode modification was carried out by electrodeposition of Au potential-sweeping on electrodes known as Au/GCE electrodes. The resulting electrode has high conductivity and excellent catalytic activity because it is able to provide a large peak current response. In this study, the peak current obtained is sharper, the sensitivity and stability are also better due to the electrocatalytic properties produced by the high gold thin layer. The optimum conditions will be determined based on variations in the electrodeposition cycles of gold thin films and variations in the supporting electrolyte. The optimum cycle of gold thin film electrodeposition was obtained, namely one cycle and 0.1 M KOH as the optimum supporting electrolyte.

Keywords — Formaldehyde, *Glassy Carbon Electrode*, Gold Thin Layer, Cyclic Voltammetry

I. PENGANTAR

Pada beberapa tahun belakangan ini dilakukan penelitian intensif terhadap formaldehida. Di seluruh dunia, formaldehida digunakan dalam jumlah besar sebagai bahan baku dalam produksi bahan kimia dan manufaktur plastik serta berbagai produk rumah tangga [1]. Di sisi lain, formaldehida telah terdaftar sebagai karsinogen oleh *International Agency for Research on Cancer* (IARC) dan Badan Kesehatan Dunia (WHO) telah merekomendasikan nilai ambang 0,1 mg/m³ (80 ppb) untuk formaldehida di udara dalam ruangan [2]. Baru-baru ini, formaldehida ditemukan sebagai salah satu produk bercun dan mutagenik. Paparan jangka panjang akan membahayakan kesehatan tubuh manusia, seperti rangsangan selaput lendir kulit, iritasi pernapasan, iritasi mata, sakit kepala dan asma bronkial. Sehingga deteksi formaldehida yang efisien sangat dibutuhkan [3].

Sebenarnya hingga saat ini telah banyak metode analitik yang dikembangkan untuk mengukur formaldehida di lingkungan sekitar seperti menggunakan kromatografi cair kinerja tinggi (HPLC) [4], kromatografi gas (GC) [5], dan spektrofotometri [6]. Namun, teknik-teknik tersebut memiliki kekurangan antara lain waktu analisis yang relatif lama, perangkat instrumen yang mahal dan preparasi yang rumit. Sehingga perlu dikembangkan metode lain untuk mengatasi hal tersebut. Munculnya metode sensor elektrokimia telah

menunjukkan respon yang baik dan sangat menjanjikan untuk pendekatan analitik karena menawarkan metode yang sensitif, lebih sederhana dan membutuhkan peralatan yang lebih murah [7]. Telah dikembangkan beberapa penelitian menggunakan modifikasi elektroda untuk deteksi formaldehida diantaranya *glassy carbon electrode* modifikasi AuNPs@PPy [8], *glassy carbon electrode* menggunakan *nickel modified electrodes* [1], *glassy carbon electrode* modifikasi *Nickel-Palladium nanoparticle* [9], *screen-printed carbon electrode* modifikasi Cu/PS *nanocomposite* [10].

Glassy Carbon Electrode (GCE) dipilih untuk mendeteksi formaldehida karena sangat popular digunakan sebagai elektroda kerja. *Glassy carbon electrode* memiliki bentuk fisik seperti kaca hitam yang mudah pecah. *Glassy carbon electrode* mempunyai struktur amorf, mempunyai pori-pori yang berdekatan dalam ukuran yang kecil dan mempunyai kemurnian yang tinggi [11]. *Glassy carbon electrode* terbuat dari berbagai bahan karbon berstruktur nano, seperti karbon nanotube, karbon mesopore dan *graphene* [12]. Selain itu, *glassy carbon electrode* juga memiliki keunggulan sifat elektrik dan konduktivitas termal yang sangat baik, memiliki kisaran potensial yang lebar dan dapat menghantarkan arus listrik [13]. Untuk meningkatkan kinerja analitik, elektroda GC membutuhkan *pre-treatment* permukaan yang biasanya dengan cara pemolesan pada permukaannya (“seperti cermin yang mengkilap”) dengan partikel alumina pada kain pemoles [14].

Elektroda *glassy carbon* ini akan dimodifikasi dengan lapisan tipis emas menggunakan teknik elektrodeposisi untuk meningkatkan elektrokatalitiknya. Lapisan tipis pada suatu logam memiliki sifat konduktivitas yang tinggi, area yang luas serta proses kerja dengan suhu rendah. Emas adalah logam penting dalam bidang elektronik, optik, kimia dan fisika yang menguntungkan karena memiliki stabilitas kimia yang besar [15]. Lapisan tipis emas (*Au-film*) banyak digunakan karena memiliki keunggulan seperti resolusi sensor yang tinggi dan kestabilan kimia yang baik [16]. Metode elektrodeposisi dalam modifikasi lapisan tipis emas ini merupakan teknik yang sangat menarik dan sederhana karena deposisi dihasilkan dari larutan yang memungkinkan pelapisan permukaan [17].

Dalam penelitian ini, deteksi formaldehida untuk pertama kalinya diselidiki pada lapisan tipis emas menggunakan *Glassy Carbon Electrode* (GCE) secara voltametri siklik. Elektrodeposisi lapisan tipis Au dengan *Glassy carbon electrode* dianggap sebagai teknik yang menarik untuk deteksi formaldehida karena menawarkan metode yang sederhana, murah dan efektif waktu. Ditambah lagi karena elektrodeposisi lapis tipis emas ini sifatnya mendekati nanopartikel yang mana dapat memperluas area permukaan (elektrokatalitik) sehingga dapat meningkatkan arus puncak [7].

II. METODE PENELITIAN

A. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah potensiostat merk e-DAQ model EA163, komputer/laptop, *working electrode*; GCE, *counter electrode*; platina, *reference electrode*; Ag/AgCl, *polishing cloth*, neraca analitik, *ultrasonic bath*, *hot plate*, pH meter, *micro pipet*, sel elektrokimia, peralatan gelas dan tisu.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah formaldehida (*Merck*), $\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (*jinan future chemical china*), KCl (*Merck*), $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ (*Merck*), KNO_3 (*Merck*), alumina powder 0,3 μm , *supporting electrolyte*; KOH (*Merck*), HNO_3 (*Merck*), *buffer phosphate* (*Merck*) dan aquades.

B. Preparasi Au/GCE

Pertama kali GCE dibilas dengan aquades, dipoles hati-hati dengan 0,3 μm bubuk Al_2O_3 di atas elektroda *polishing cloth* sampai permukaan cermin mengkilat dan dibilas lagi dengan aquadest, sonikasi dengan *ultrasonic bath* selama 3 menit. GCE dimodifikasi dengan lapisan tipis Au menggunakan elektrodeposisi *potential-sweeping* dalam $\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 50 μM dan KCl 0,1 M untuk satu siklus. Kemudian elektroda tersebut dilambangkan sebagai Au/GCE. Selanjutnya dilakukan pengukuran menggunakan potensiostat e-DAQ model EA163 secara voltametri siklik dengan rentang potensial dari 1,2 V ke 0 V dengan *scanrate* 100 mV/s [7].

C. Electrochemical Behavior GCE dan Au/GCE

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

Dilakukan karakterisasi permukaan elektrokimia elektroda GCE dan Au/GCE secara voltametri siklik dalam $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 2 mM dan KNO_3 1 M ke dalam sel elektrokimia, dicelupkan WE, RE dan CE. Kemudian diukur menggunakan potensiostat merk e-DAQ model EA163 dengan rentang potensialnya 1 V ke -1 V, *scanrate* 100 mV/s [7].

2. Voltametri siklik dari Formaldehida

Dilakukan analisis elektroda GCE dan Au/GCE sebagai elektroda kerja secara voltametri siklik, masukkan ke dalam sel elektrokimia larutan KOH 0,1 M sebagai elektrolit pendukung dan formaldehida 10 mM sebagai analit beserta WE, RE dan CE. Kemudian diukur menggunakan potensiostat merk e-DAQ model EA163 dengan rentang potensialnya -1 V ke 1 V dengan *scanrate* 100 mV/s. [18].

D. Optimasi Sensor Formaldehida menggunakan Elektroda Au/GCE

1. Variasi banyaknya cycle elektrodeposisi lapisan tipis emas pada deteksi formaldehida

Respon elektrokimia pada deteksi formaldehida untuk modifikasi Au/GCE dengan variasi *cycle* pada tahap elektrodeposisi lapisan tipis emas yaitu 1 *cycle*, 5 *cycle*, 10 *cycle* yang dilakukan dengan memasukkan larutan *supporting electrolyte* KOH 0,1 M dan formaldehida 10 mM ke dalam sel elektrokimia beserta WE, RE dan CE. Analisis menggunakan potensiostat merk e-DAQ model EA163 dengan rentang potensialnya -1 V ke 1 V dengan *scanrate* 100 mV/s secara voltametri siklik. Voltammogram akan terlihat pada komputer/laptop. Kemudian pilih *cycle* elektrodeposisi lapisan tipis emas yang paling optimum.

2. Variasi Supporting Electrolyte (KOH 0,1 M, buffer phosphate 0,1 M, HNO_3 0,1 M)

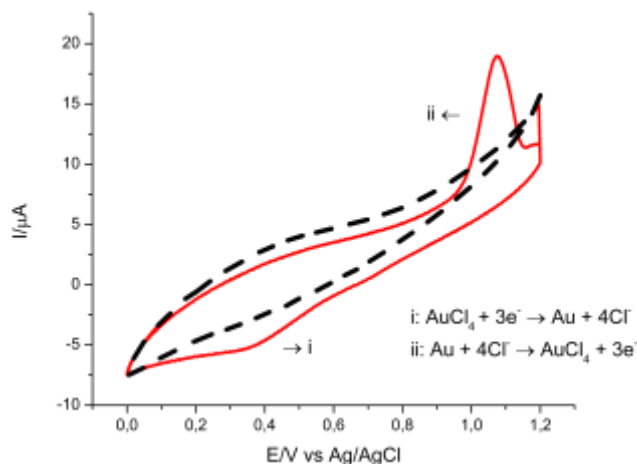
Respon elektrokimia pada deteksi formaldehida untuk modifikasi Au/GCE dengan variasi *supporting electrolyte* yaitu KOH, *buffer phosphate*, HNO_3 . Pada sel elektrokimia, masukkan larutan *supporting electrolyte* KOH 0,1 M dan larutan formaldehida 10 mM, celupkan WE, RE dan CE. Analisis menggunakan potensiostat merk e-DAQ model EA163 dengan rentang potensialnya -1 V ke 1 V dengan *scanrate* 100 mV/s secara voltametri siklik. Langkah tersebut diulangi untuk *supporting electrolyte* HNO_3 dan *buffer phosphate*. Voltammogram akan terlihat pada komputer/laptop. Kemudian pilih *supporting electrolyte* yang paling optimum.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Preparasi Au/GCE dengan Teknik Elektrodeposisi

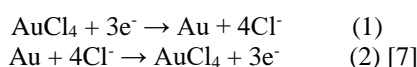
Sebelum Au/GCE digunakan sebagai elektroda kerja pada sensor formaldehida, elektroda GCE yang direndam dalam $\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 50 μM dan KCl 0,1 M dikarakterisasi terlebih dahulu menggunakan potensiostat merk e-DAQ model EA163

secara voltametri siklik pada potensial 1,2 V ke 0 V dengan scanrate 100 mV/s seperti yang terlihat pada voltammogram berikut ini.



Gambar 1. Voltammogram Siklik pada GCE dalam HAuCl₄.3H₂O 50 μM dan KCl 0,1 M, scan rate 100 mV/s

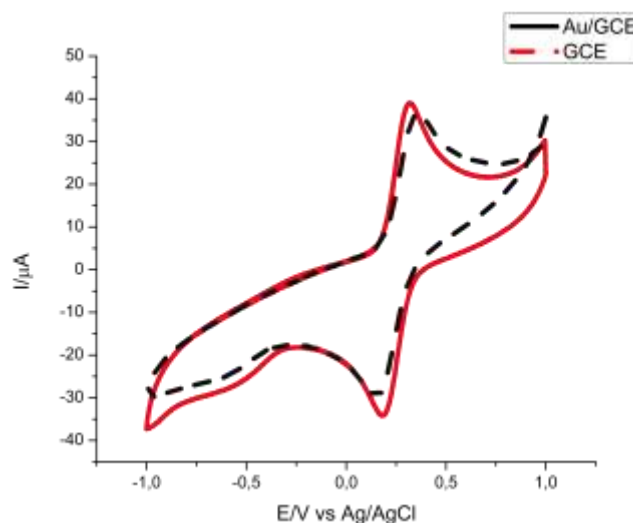
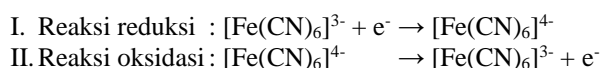
Pada puncak I adalah puncak katodik (reverse scan) dan puncak II adalah puncak anodik (forward scan) dari Au/GCE dengan persamaan reaksi:



Di mana puncak katodik dan anodik muncul pada potensial 0,35 V; I_p = 5,45 μA dan 1,05 V; I_p = 18,96 μA. Ini menunjukkan bahwa elektroda GCE berhasil mengalami satu siklus pelapisan Au, dan puncak redoks yang jelas dari film tipis Au menegaskan bahwa Au terlapisi pada permukaan elektroda. Hal serupa juga telah dilakukan untuk electrodeposisi lapisan tipis emas ini, di mana di dapatkan puncak katodik dan anodiknya pada potensial 0,42 V; I_p = 3,80 μA dan 0,95 V; I_p = 3,05 μA [7]. Teknik electrodeposisi ini merupakan teknik elektrokimia yang menggunakan energi listrik melalui suatu elektrolit. Proses electrodeposisi membutuhkan elektroda konduktif yang dapat dialiri arus listrik sehingga terjadi proses oksidasi dan reduksi di dalam elektrolit. Elektroda dapat terbuat dari karbon, grafit, platina, dan emas [19].

B. Perilaku Elektrokimia pada Elektroda Berbeda dalam K₃[Fe(CN)₆]

Luas permukaan efektif pada elektroda GCE non modifikasi dibandingkan dengan Au/GCE yang dianalisis secara voltametri siklik dalam 2 mM K₃[Fe(CN)₆] dan 1 M KNO₃ untuk menentukan nilai area aktif permukaan elektroda (pada gambar 2). Karakterisasi dilakukan dengan mengukur potensial redoks dari [Fe(CN)₆]³⁻ dapat dilihat pada gambar 3 dengan persamaan reaksi:



Gambar 2. Voltammogram Siklik Elektroda GCE non modifikasi (garis --- hitam) dan modifikasi (garis hitam) dalam 2 mM K₃[Fe(CN)₆] dan 1 M KNO₃, scanrate 100 mV/s

Respon voltametri siklik pada kedua elektroda berupa quasi-reversible pada redoks [Fe(CN)₆]³⁻/[Fe(CN)₆]⁴⁻ (E_{pa}-E_{pc}) GCE dan Au/GCE sebesar 0,196 V dan 0,131 V. Nilai I_{pa} GCE pada penelitian ini diperoleh sebesar 25,25 μA dan E_{pa} sebesar 0,361 V, I_{pc} sebesar 26,98 μA dan E_{pc} sebesar 0,165 V. Sedangkan pada Au/GCE nilai I_{pa} sebesar 27,44 μA dan E_{pa} 0,324 V, I_{pc} sebesar 31,78 μA dan E_{pc} sebesar 0,193 V. Puncak reduksi dan oksidasi terlihat dengan jelas pada rentang potensial 1 V ke -1 V. Pasangan redoks Fe(CN)₆³⁻ merupakan reaksi elektrokimia cepat dengan proses transfer 1 elektron. Berdasarkan dari hasil analisis terlihat bahwa elektroda Au/GCE lebih sensitif dan lebih menunjukkan hasil elektroaktif yang lebih baik berdasarkan persamaan Randles-Sevcik (1):

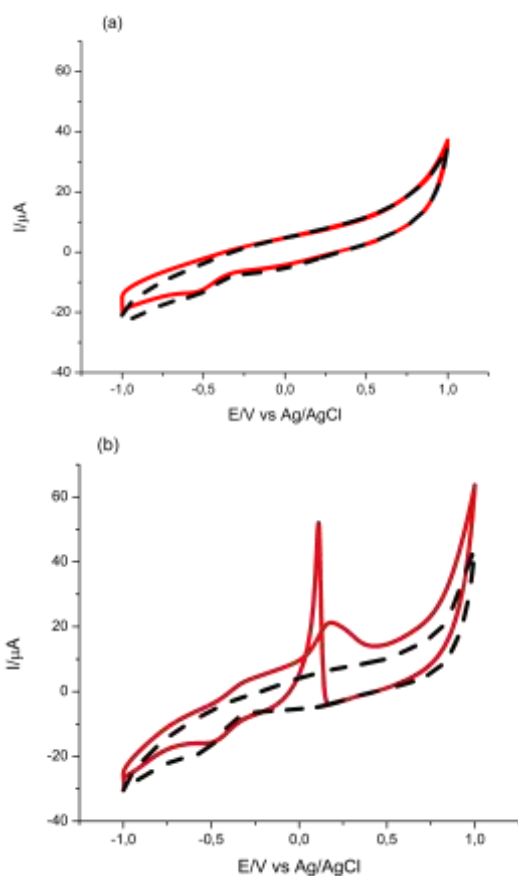
$$I_p = 2,69 \times 10^5 AD^{1/2} n^{3/2} v^{1/2} C \quad (3)$$

Di mana I_p adalah arus puncak, A adalah luas elektroda (cm²), v adalah scanrate (V/s) dan n adalah jumlah transfer elektron. Berdasarkan hasil analisis yang didapatkan menunjukkan bahwa perpindahan satu elektron yang heterogen (n=1), konsentrasi (C) adalah 2 mM dan koefisien difusi (D) adalah 6,057 x 10⁻⁶ cm²/s. Nilai luas permukaan elektroda GCE dan elektroda Au/GCE diperoleh berturut-turut 0,18 cm² dan 0,29 cm² arus faraday (96485,34 Cmol⁻¹). Sehingga arus puncak Au/GCE lebih tinggi daripada GCE karena kinetika elektroda meningkat pada Au/GCE secara voltametri siklik pada formaldehida [7].

C. Perilaku Elektrokimia pada Elektroda Berbeda dalam Formaldehida

Analisis elektroda GCE dan elektroda Au/GCE pada sensor formaldehida untuk membandingkan elektroda mana yang memberikan hasil optimum untuk deteksi formaldehida. Dilakukan dalam larutan supporting electrolyte KOH 0,1 M dan formaldehida 10 mM pada rentang potensial -1 V ke 1 V

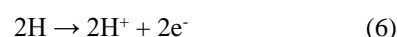
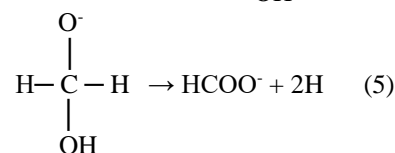
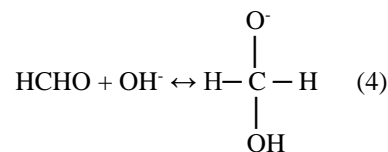
dengan *scanrate* 100 mV/s seperti yang terlihat pada gambar 3.



Gambar 3. Voltametri Siklik pada elektroda; (a) GCE dan (b) Au/GCE dalam 10 mM Formaldehida, *scanrate* 100 mV/s

Elektrokatalitik formaldehida diselidiki secara voltametri siklik oleh masing-masing elektroda yang berbeda yaitu elektroda GCE dan Au/GCE. Pada elektroda GCE setelah ditambahkan formaldehida (gambar 3a) tidak ada puncak redoks yang muncul, sedangkan pada elektroda Au/GCE setelah ditambahkan formaldehida (3b) memberikan hasil yang lebih baik dalam sensor formaldehida dibandingkan GCE karena hasil lapisan tipis emas yang dideposisikan pada elektroda GCE memiliki sifat konduktivitas yang sangat baik dan aktivitas elektrokatalitik yang lebih kuat sehingga menghasilkan puncak oksidasi. Puncak oksidasi formaldehida pada Au/GCE (3b) muncul pada potensial 0,1836 V (*forward scan*) dan potensial 0,1180 V (*reverse scan*). [26]. Lapisan tipis emas pada elektroda GCE memberikan elektroda tersebut kapasitas adsorpsi yang kuat, menyebabkan imobilisasi formaldehida dan memungkinkan respon arus tinggi yang diinduksi oleh interaksi formaldehida dan substrat dalam sel elektrokimia [21]. Ini menunjukkan perilaku elektrokatalitik yang sangat baik dari elektroda Au/GCE karena memberikan potensi arus puncak yang tinggi untuk oksidasi menjadi formaldehida [27].

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



Dalam media basa, diol geminal dihasilkan dalam elektrooksidasi formaldehida yang merupakan bahan aktif listrik dalam oksidasi berbagai aldehida. Menurut literatur, asam format merupakan produk utama dalam oksidasi elektrokatalitik formaldehida [26]. Evolusi hidrogen pada elektroda Au/GCE menunjukkan bahwa hidrogen tidak teroksidasi oleh reaksi (6). Beberapa H_{ad} bergabung kembali menjadi molekul hidrogen.

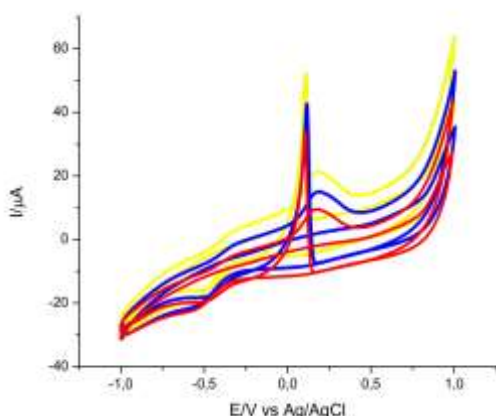


Oksidasi formaldehida melalui reaksi (4) – (7) tidak menghasilkan zat intermediet yang terikat kuat. Hal ini menjadi salah satu alasan ketidakpekaan struktural. Jika tidak ada formaldehida dalam larutan, tidak ada puncak yang terlihat (garis --- hitam). Oksidasi formaldehida pada elektroda Au/GCE merupakan perilaku katalitik yang menarik dan menunjukkan sensitivitas struktur [22].

D. Optimasi Sensor Au/GCE dalam Penentuan Formaldehida

1. Respon Elektrokimia Formaldehida pada Au/GCE dengan Variasi Cycle Elektrodeposisi Lapisan Tipis Emas

Variasi *cycle* pada optimasi sensor Au/GCE terhadap formaldehida digunakan untuk menganalisis reaksi elektrokimia elektroda Au/GCE yang dilakukan dalam rentang potensial dari 1,2 V hingga 0 V sambil memvariasikan siklus elektrodeposisi lapisan tipis emas. Variasi *cycle* yang diterapkan yaitu 1 *cycle*, 5 *cycle*, 10 *cycle* secara voltametri siklik. Selanjutnya, formaldehida 10 mM diukur menggunakan elektroda Au/GCE. Gambar 4 menunjukkan hasil pengukuran sensor formaldehida. Berdasarkan hasil analitik, elektroda Au/GCE tidak hanya sensitif tetapi juga stabil terhadap oksidasi formaldehida. Dari analisis yang dilakukan mengungkapkan bahwa Au/GCE benar-benar terdegradasi selama pemindaian dan elektroda sepenuhnya dipasivasi. Artinya, elektroda menjadi inert dan tidak mudah terkorosi (pasif).



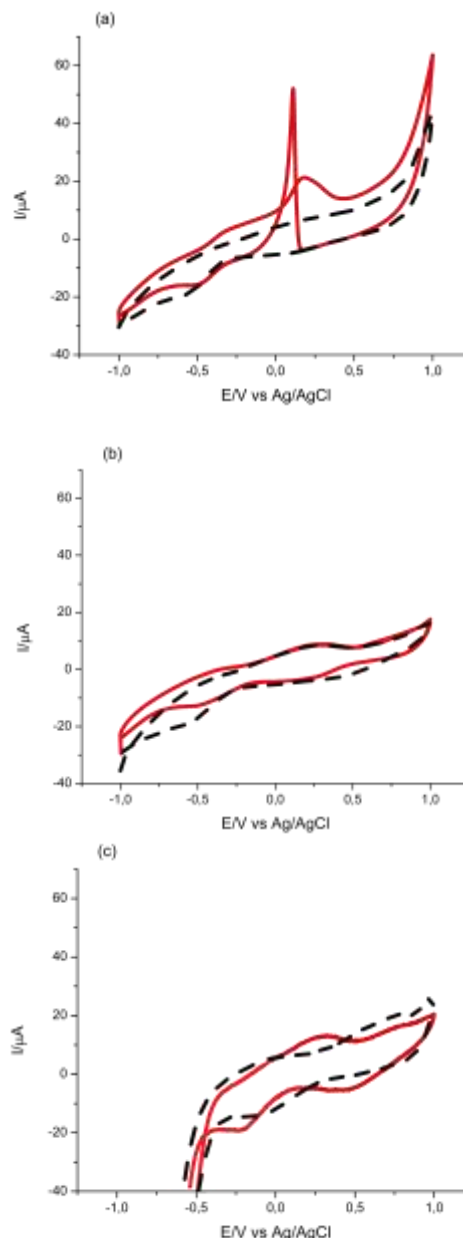
Gambar 4. Voltammogram Siklik pada GCE; (a) 1 cycle (merah), (b) 5 cycles (biru), (c) 10 cycles (orange) dalam $\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 50 μM dan KCl 0,1 M, scanrate 100 mV/s

Berdasarkan gambar 4 di atas dapat dilihat bahwa semakin tinggi jumlah siklus elektrodeposisi lapisan tipis emas maka semakin rendah puncaknya dan stabilitasnya semakin buruk. Jumlah siklus yang diterapkan selama proses elektrodeposisi Au/GCE berdampak signifikan terhadap sensitivitas dan stabilitas sensor. Terlalu banyak siklus elektrodeposisi lapisan tipis emas yang diterapkan dapat menyebabkan pembentukan formaldehida yang semakin lebar di permukaan [24].

Variasi *cycle* optimal untuk analisis ini adalah 1 *cycle*. Seperti yang terlihat pada gambar 4 (a), elektrodeposisi lapisan tipis emas dalam satu siklus menunjukkan voltammogram yang lebih konstan dan arus puncak yang baik untuk oksidasi formaldehida. Elektroda Au/GCE yang diendapkan pada siklus yang lebih rendah menunjukkan kinerja analitik yang baik. Semakin banyak siklus yang digunakan untuk elektrodeposisi lapisan tipis emas, semakin sedikit sifat elektrokatalitik pada elektroda. Dengan demikian, kinerja pengenalan analit akan berkurang [25].

2. Respon Elektrokimia Formaldehida pada Au/GCE dalam Elektrolit Pendukung yang Berbeda

Larutan *supporting electrolyte* digunakan untuk menurunkan resistansi larutan. Selain itu, terdapat peluang untuk meningkatkan konduktivitas dan mengontrol potensi untuk mengurangi efek transfer elektron selama probing. Elektrolit pendukung yang optimal ditentukan dengan membandingkan arus puncak dari ketida larutan *supporting electrolyte* yang terpilih, seperti yang ditunjukkan pada gambar 5. Larutan elektrolit pendukung yang optimal nantinya akan mendukung reaksi redoks pada sel elektrokimia [23].



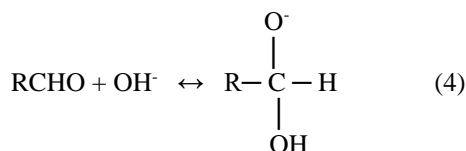
Gambar 5. Voltametri Siklik pada Au/GCE dalam Variasi Supporting Electrolyte; (a) KOH , (b) *Buffer Phosphate*, (c) HNO_3 , scanrate 100 mV/s

Efek *supporting electrolyte* KOH 0,1 M diselidiki menggunakan voltametri siklik, menghasilkan arus oksidasi puncak yang tajam. Reoksidasi analitik formaldehida membutuhkan larutan yang sangat basa dan keberadaan anion (OH^-) konsentrasi tinggi sangat penting untuk melanjutkan reaksi oksidasi formaldehida ini. Untuk alasan ini, basa kuat pada konsentrasi 0,1 M digunakan dalam pengujian untuk mendeteksi formaldehida [20].

Berdasarkan gambar 5, reaksi elektrokimia pada pengukuran formaldehida dengan elektroda Au/GCE yang dilakukan pada elektrolit pendukung yang berbeda ditunjukkan dengan voltametri siklik sebelum (garis --- hitam) dan sesudah (garis merah) penambahan analit formaldehida dengan membandingkan hasilnya. Gambar

6(a) menunjukkan hasil voltammogram sebelum penambahan formaldehida 10 mM dalam larutan elektrolit pendukung KOH 0,1 M. Tidak ada puncak arus anodik, tetapi puncak arus anodik meningkat secara signifikan setelah penambahan analit kisaran potensial -1 V hingga 1 V. Puncak arus yang terbaca merupakan puncak arus redoks dari formaldehida.

Selanjutnya, pada gambar 5 (b), ditemukan bahwa larutan elektrolit buffer fosfat 0,1 M tidak menanggapi arus puncak redoks serta setelah penambahan larutan formaldehida 10 mM. Pada gambar 5 (c), melakukan hal yang sama dengan larutan pendukung elektrolit HNO₃ 0,1 M. Larutan elektrolit pendukung KOH 0,1 M memberikan hasil yang lebih baik daripada buffer fosfat dan HNO₃ karena memastikan arus puncak yang tajam dan sensitivitas sensor formaldehida yang tinggi. Hal ini terjadi karena adisi hidroksida nukleofilik reversibel pada gugus karbonil dalam larutan basa aldehida membentuk anion diol geminal [22]. Dalam media basa ini, diol geminal juga terbentuk selama elektrooksidasi formaldehida [24].



Aldehida dioksidasi menjadi karboksilat yang sesuai dalam proses dua elektron yang tidak dapat diubah. *Chemisorption* OH pada elektroda Au / GCE menunjukkan sensitivitas struktural yang luar biasa. Berdasarkan uraian tersebut, KOH 0,1 M merupakan larutan elektrolit pendukung terbaik untuk deteksi formaldehida dan dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut.

IV. KESIMPULAN

Glassy Carbon Electrode (GCE) yang dimodifikasi lapisan tipis emas digunakan untuk deteksi formaldehida secara voltametri siklik tanpa proses prakonsentrasi. Elektroda Au/GCE telah menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan elektroda GCE untuk deteksi formaldehida. Variasi *cycle* elektrodeposisi lapisan tipis emas yang optimum untuk deteksi formaldehida adalah 1 *cycle*, sedangkan larutan *supporting electrolyte* yang optimum untuk deteksi formaldehida adalah KOH 0,1 M. Arus puncak oksidasi yang lebih tinggi pada Au/PLE dikarenakan oleh sifat elektrokatalitik yang dihasilkan oleh lapisan tipis Au yang terdeposisi pada permukaan PLE.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis kepada Kepala Laboratorium Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Negeri Padang yang telah memberi izin kepada penulis untuk dapat menyelesaikan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Trivedi, D., Crosse, J., Tanti, J., Cass, A. J., & Toghill, K. E. (2018). The Electrochemical Determination of Formaldehyde in Aqueous Media using Nickel Modified Electrodes. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 270(January), 298–303.
- [2] Ganie, A. S., Bano, S., Sultana, S., Sabir, S., & Khan, M. Z. (2021). Ferrite Nanocomposite Based Electrochemical Sensor: Characterization, Voltammetric and Amperometric Studies for Electrocatalytic Detection of Formaldehyde in Aqueous Media. *Electroanalysis*, 33(1), 233–248.
- [3] Lou, C., Huang, Q., Li, Z., Lei, G., Liu, X., & Zhang, J. (2021). Fe₂O₃-sensitized SnO₂ nanosheets via atomic layer deposition for sensitive formaldehyde detection. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 345(June), 130429.
- [4] Wang, T., Gao, X., Tong, J., & Chen, L. (2012). Determination of Formaldehyde in Beer based on Cloud Point Extraction using 2,4-dinitrophenylhydrazine as Derivative Reagent. *Food Chemistry*, 131(4), 1577–1582.
- [5] Bianchi, F., Careri, M., Musci, M., & Mangia, A. (2007). Fish and food safety: Determination of formaldehyde in 12 fish species by SPME extraction and GC-MS analysis. *Food Chemistry*, 100(3), 1049–1053.
- [6] Weng, X., Chon, C. H., Jiang, H., & Li, D. (2009). Rapid Detection of Formaldehyde Concentration in Food on a Polydimethylsiloxane (PDMS) Microfluidic Chip. *Food Chemistry*, 114(3), 1079–1082.
- [7] 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.
- [8] 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(March), 104846.
- [9] Nachaki, E. O., Ndagili, P. M., Naumih, N. M., & Masika, E. (2018). Nickel-Palladium-Based Electrochemical Sensor for Quantitative Detection of Formaldehyde. *Chemistry Select*, 3(2), 384–392.
- [10] 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.
- [11] Maryani, F. (2010). Modifikasi Glassy Carbon Dengan Nanopartikel Emas Sebagai Sensor Oksigen Dan Studi Pendahuluan Untuk Pengukuran BOD.
- [12] Putri, W. J., & Isa, I. (2021). *Studi Literatur Sensor Glukosa Untuk Darah Manusia Menggunakan Sensor Elektrokimia Berbasis Glassy Carbon Electrode (GCE) dengan Metode Voltametri*. *Jurnal Fisika Unand (JFU)*, 10(3), 324–329.
- [13] Muhammad Agung Satrio, d. A. (2019). *Fenomena Surface Plasmon Resonance (SPR) dalam Konfigurasi Kretschmann dengan Sistem Lapis Tipis Emas (Au)/Nanomagnetite (Fe₃O₄) untuk Deteksi Gelatin Babi*. *Prosiding Seminar Nasional Fisika Festival*, 6-7.
- [14] Wang, J. (2001). *Analytical Electrochemistry: Second Edition*. New York: A John Wiley & Sons.
- [15] Radwan, Z. I. A. S. I., & Ghazy, M. M. S. O. A. (2021). Struktural, optical and electrical properties of PVC/ Au thin films prepared by sputtering process. *Optical and Quantum Electronics*. 1-14.
- [16] 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.
- [17] 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 Film Directly onto Silicon Nitride Thin Films and into Micropores (2014, 6 (14), 10952-10957). *ACS Applied Materials and Interfaces*, 7 (46), 26004.
- [18] Rahayu, R. (2020). Analisis Kadar Klorin (Cl) dalam Beras dengan metode Voltametri Siklik menggunakan Elektroda Platina (Pt). *Skripsi*, 19.
- [19] Muhammad, A., & Putri, N. P. (2023). *Pengaruh Variasi Cycle Elektrodeposisi Terhadap Nilai Konduktivitas Lapisan Tipis Polianilin*. 12, 20–25.
- [20] Kachoosangi, R. T., & Compton, R. G. (2013). Voltammetric determination of Chromium(VI) using a gold film modified carbon

- composite electrode. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 178, 555–562.
- [21] 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>
- [22] 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)
- [23] Siswoyo, & Zulfikar. (2007). Pengembangan Sensor Voltametri N2O dengan Optimalisasi Polarisasi Elektroda dan Konsentrasi Elektrolit Menggunakan Konsentrasi Elektrolit . *Skripsi*, 1–62.
- [24] 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>
- [25] 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>
- [26] 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.2013.018>
- [27] Safavi, A., Maleki, N., Farjami, F., & Farjami, E. (2009). Electrocatalytic oxidation of formaldehyde on palladium nanoparticles electrodeposited on carbon ionic liquid composite electrode. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 626(1–2), 75–79. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2008.11.008>