

Pengaruh *Supporting Electrolyte* pada Penentuan Formaldehida secara Voltametri Siklik Menggunakan Au/MWCNT/GCE

Ananda Suci Annisa¹, Trisna Kumala Sari^{*2}, Indang Dewata³, Miftahul Khair⁴, Okta Suryani⁵

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

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

Abstract — Formaldehyde was detected electrochemically using a modified glassy carbon electrode with a Multi-Walled Carbon Nanotube (MWCNT) and a thin layer of gold (Au). Modification of MWCNT was carried out by drop coating, while modification of the thin layer of gold was carried out by sweeping-potential electrodeposition using the cyclic voltammetry method. The purpose of this study was to develop a formaldehyde sensor using Au/MWCNT/GCE and to determine the optimum conditions of the supporting electrolyte for formaldehyde measurement. The results showed that Au/MWCNT/GCE provided better catalytic activity than GCE, MWCNT/GCE and Au/GCE electrodes in the determination of formaldehyde. The optimum supporting electrolyte obtained was KOH with a test analyte concentration of 10 mM. The oxidation peak of formaldehyde I is at a potential of 0.0264 V and peak of oxidation of formaldehyde II is at a potential of 0.075 V.

Keywords — Au/MWCNT/GCE, Cyclic Voltammetry, Formaldehyde, Supporting Electrolyte

I. PENGANTAR

Formaldehida adalah senyawa organik berbahaya yang banyak digunakan sebagai bahan baku di beberapa industri manufaktur serta makanan. Penggunaan formaldehida secara ekstensif untuk keperluan industri dan domestik telah membuat kehadirannya lazim di media lingkungan sekitarnya. Formaldehida memiliki fungsi anti korosi, memperpanjang umur simpan, meningkatkan kapasitas menahan air, ketangguhan dan sebagainya. Formaldehida telah terdaftar sebagai karsinogen manusia yang kuat dan dapat menyebabkan masalah kesehatan yang serius pada tingkat paparan yang sangat rendah. Formaldehida dapat menyebabkan iritasi pada mata, hidung, dan tenggorokan, serta iritasi dan dermatitis kontak alergi pada kulit [1]

Menurut *United States Environmental Protection Agency* (USEPA), paparan kronis formaldehida tidak boleh melebihi 0,2 mg/kg berat badan per hari. Oleh karena itu, metode yang efisien, andal, dan hemat biaya sangat diperlukan untuk mengukur bahaya kesehatan lingkungan ini [2].

Saat ini metode pengujian yang lebih umum untuk mendeteksi formaldehida adalah kromatografi cair kinerja tinggi (HPLC) [3], kromatografi gas [4] dan spektrofotometri UV-Vis [5]. Namun metode-metode tersebut memiliki kelemahan yaitu preparasi dan prosedur yang rumit, biaya mahal, serta instrumentasi besar (*non-portable*) [6]. Sensor elektrokimia menjadi alternatif instrument analisa yang menunjukkan respon yang baik dan sangat menjanjikan untuk pendekatan analitik karena menawarkan metode yang

sederhana, sensitif dan membutuhkan peralatan yang murah [7]. Metode elektrokimia dengan teknik voltametri untuk identifikasi formaldehida telah banyak dilakukan, [6] seperti menyelidiki keberadaan formaldehida menggunakan Pt-Pd-graphene/GCE, [1] menggunakan AuNPs/PPy/GCE, [8] dan menggunakan Ni/GCE.

Pada penelitian ini, formaldehida dideteksi menggunakan *Glassy Carbon Electrode* (GCE) yang dimodifikasi dengan *multi walled carbon nanotube* dan lapisan tipis emas. Elektroda kerja GCE digunakan karena dapat mendeteksi analit dengan sensitivitas yang tinggi dan dapat menghasilkan data secara kuantitatif pada konsentrasi rendah, konduktivitas listrik yang baik, analisis cepat dan kemudahan modifikasi permukaan [9], [10]. Elektroda dimodifikasi dengan MWCNT dan lapisan tipis emas. MWCNT adalah bahan yang kaku, relatif murah, mudah diproduksi, memiliki luas permukaan yang besar, dan menunjukkan stabilitas termal yang baik serta afinitas yang kuat terhadap bahan organik dan polutan ionik lainnya [11]. Elektroda dimodifikasi dengan emas dapat meningkatkan arus puncak dan memberikan respon yang baik [12]. Modifikasi lapisan tipis emas dilakukan dengan metode elektrodeposisi sehingga dapat meningkatkan konduktivitas listrik dan sifat elektrokatalitik pada permukaan elektroda kerja GCE [13], [14].

Analisis *supporting electrolyte* dalam penelitian ini penting dilakukan karena memiliki peran menambah konduktivitas, menurunkan resistensi larutan, dan mengontrol potensial selama penelitian guna mengurangi efek migrasi

elektron [15]. Penelitian ini merupakan penelitian pertama yang dilakukan mengenai deteksi formaldehida menggunakan GCE yang termodifikasi MWCNT/Au.

II. METODE PENELITIAN

A. Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah gelas kimia, pipet mikro, cawan petri, labu ukur, spatula, botol semprot, botol vial 10 mL, botol reagen 100 mL, *ultrasonic bath*, *electrode polishing cloth*, tisu, *Glassy Carbon Electrode* (GCE) sebagai elektroda kerja, elektroda pembanding Ag/AgCl, elektroda pembantu Pt, potensiostat e-DAQ model EA163, dan seperangkat komputer.

B. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah formaldehida, *multi walled carbon nanotube*, dimetilformida (DMF) (Merck; Damstadt, Jerman), $\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (Jinand Future Chemical China), KCl (Merck; Damstadt, Jerman), $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ (Merck; Damstadt, Jerman), KNO_3 (Merck; Damstadt, Jerman), KOH (Merck; Damstadt, Jerman), Buffer Fosfat (Merck; Damstadt, Jerman), HNO_3 (Merck; Damstadt, Jerman) dan aquades.

C. Prosedur Penelitian

1. Preparasi GCE dengan Modifikasi Multi Walled Carbon Nanotube dan Lapisan Tipis Emas

Sebelum dimodifikasi, GCE dipoles secara perlahan menggunakan Al_2O_3 bubuk ukuran $0,3 \mu\text{m}$ diatas elektroda *polishing cloth* sampai permukaannya mengkilap. Kemudian elektroda dibilas dengan aquadest dan disonikasi dalam *ultrasonic bath* selama 3 menit dan dikeringkan [7].

Multi walled carbon nanotube dibuat dengan 10 mg MWCNT didispersikan dalam 10 mL DMF. Kemudian disonikasi selama 30 menit hingga diperoleh suspensi homogen dan stabil berwarna hitam. GCE modifikasi MWCNT dilakukan dengan metoda *drop coating* yaitu meneteskan 1 tetes suspensi MWCNT pada permukaan GCE dan dibiarkan mengering [16].

Elektroda MWCNT/GCE dimodifikasi dengan lapisan tipis emas menggunakan metode elektrodeposisi *sweeping-potential* dalam larutan $50 \mu\text{M}$ $\text{HAuCl}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ dan $0,1 \text{ M}$ KCl. Potensial pada elektroda diterapkan dari $1,2 \text{ V}$ hingga 0 V dengan *scan rate* 100 mV/s sebanyak 1 *cycle*.

2. Pengukuran Elektrokimia secara Siklik Voltametri pada Larutan $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ menggunakan Elektroda GCE, Au/GCE, MWCNT/GCE dan Au/MWCNT/GCE

Analisis keefektifan elektroda GCE, MWCNT/GCE, Au/GCE, dan Au/MWCNT/GCE secara voltametri siklik dilakukan dengan memasukkan $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 2 mM dan *supporting electrolyte* KNO_3 1 M ke dalam sel elektrokimia. Analisis dilakukan menggunakan potensiostat e-DAQ model EA 163 menggunakan sistem

3 elektroda dengan rentang potensial 1 V hingga -1 V dengan *scan rate* 100 mV/s [7].

3. Perbandingan Elektroda Non Modifikasi dan Modifikasi terhadap Formaldehida

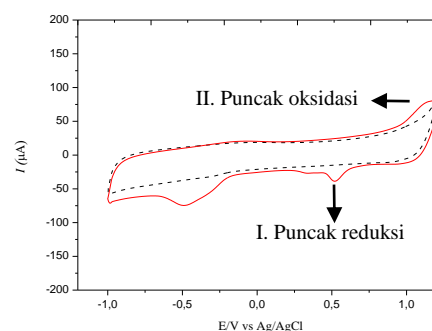
Perbandingan elektroda non modifikasi dan modifikasi secara voltametri siklik dilakukan dengan memasukkan *supporting electrolyte* KOH $0,1 \text{ M}$ dan formaldehida 10 mM ke dalam sel elektrokimia. Analisis dilakukan menggunakan potensiostat e-DAQ model EA 163 menggunakan sistem 3 elektroda dengan rentang potensial -1 V hingga 1 V dengan *scan rate* 100 mV/s [7].

4. Variasi Supporting Electrolyte

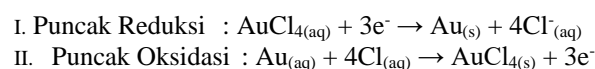
Dilakukan pengujian terhadap 10 mM formaldehida dengan metode CV dengan variasi *supporting electrolyte* yang digunakan yaitu larutan KOH $0,1 \text{ M}$, larutan Buffer Fosfat pH 7, dan larutan HNO_3 $0,1 \text{ M}$. Analisis dilakukan menggunakan potensiostat e-DAQ model EA 163 menggunakan sistem 3 elektroda dengan rentang potensial -1 V hingga 1 V dengan *scan rate* 100 mV/s .

III. HASIL PENELITIAN

A. Modifikasi GCE dengan Multi Walled Carbon Nanotube dan Lapisan Tipis Emas



Gambar 1. Voltammogram siklik modifikasi MWCNT/GCE dalam larutan $50 \mu\text{M}$ HAuCl_4 dan $0,1 \text{ M}$ KCl dengan *scan rate* 100 mV/s



Sebelum dimodifikasi dengan lapisan tipis emas GCE dimodifikasi terlebih dahulu dengan MWCNT dengan teknik *drop coating*. GCE yang sudah dimodifikasi dengan MWCNT selanjutnya dimodifikasi dengan lapisan tipis emas secara *sweeping potential* elektrodeposisi.

Gambar 1 merupakan voltammogram elektrodeposisi $50 \mu\text{M}$ HAuCl_4 dalam $0,1 \text{ M}$ KCl pada permukaan MWCNT/GCE. Potensial puncak reduksi terukur pada $0,51 \text{ V}$ dan potensial puncak oksidasi terukur pada $1,12 \text{ V}$ terhadap Ag/AgCl.

Puncak reduksi dan oksidasi yang muncul pada voltammogram menandakan keberhasilan elektrodeposisi emas pada permukaan MWCNT/GCE, sehingga elektroda ini dapat dikatakan sebagai MWCNT/GCE termodifikasi lapisan tipis emas (Au/MWCNT/GCE) [7].

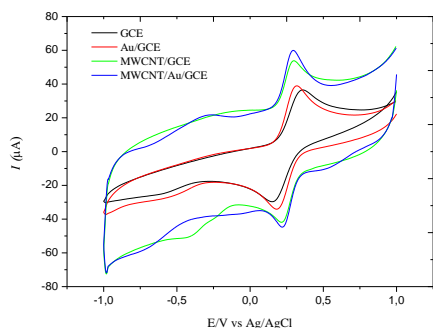
B. Pengukuran Elektrokimia secara Voltametri Siklik pada larutan $K_3[Fe(CN)_6]$ menggunakan elektroda GCE, Au/GCE, MWCNT/GCE dan Au/MWCNT/GCE

Luas permukaan efektif berbagai elektroda seperti GCE, Au/GCE, MWCNT/GCE dan Au/MWCNT/GCE dibandingkan menggunakan voltametri siklik dalam 2 mM $K_3[Fe(CN)_6]$ dan 1 M KNO_3 dengan rentang potensial 1 V hingga -1 V dengan scan rate 100 mV/s. Voltammogram siklik pada Gambar 2 menunjukkan puncak oksidasi dan reduksi.

GCE non modifikasi memberikan hasil potensial puncak oksidasi (E_{pa}) pada 0,35 V Dan potensial puncak reduksi (E_{pc}) pada 0,15 V terhadap Ag/AgCl. Setelah dilakukan modifikasi Au/GCE diperoleh E_{pa} pada 0,31 V dan E_{pc} pada 0,18 terhadap Ag/AgCl. Sedangkan saat dilakukan modifikasi MWCNT/GCE diperoleh E_{pa} pada 0,29 V dan E_{pc} pada 0,21 V terhadap Ag/AgCl. Setelah dilakukan modifikasi Au/MWCNT/GCE terjadi peningkatan arus puncak. Potensial puncak oksidasi $[Fe(CN)_6]^{3-/4-}$ diperoleh pada 0,29 V dan potensial puncak reduksi $[Fe(CN)_6]^{3-/4-}$ diperoleh pada 0,23 V terhadap Ag/AgCl. Kenaikan arus puncak pada Au/MWCNT/GCE disebabkan oleh meningkatnya sifat elektrokatalitik dari lapisan tipis Au dan peningkatan luas permukaan dari MWCNT yang terbentuk pada permukaan elektroda Au/MWCNT/GCE. Peningkatan arus puncak dapat berkontribusi pada peningkatan luas permukaan efektif [17], [18] Au/MWCNT/GCE menunjukkan luas area permukaan elektroaktif yang lebih baik berdasarkan persamaan Randles-Sevcik:

$$I_p = 2.69 \times 10^5 AD^{1/2} n^{3/2} v^{1/2} C \quad (1)$$

Dimana I_p adalah arus puncak, A adalah luas elektroda (cm^2), v adalah laju pemindaian (V/s), dan n adalah jumlah transfer elektron. Penelitian ini menunjukkan perpindahan elektron yang ditransfer ($n=1$) untuk $K_3[Fe(CN)_6]$, konsentrasi (C) adalah 2 mM, dan koefisien difusi (D) adalah $6,057 \times 10^{-6} cm^2/s$. Nilai luas elektroda GCE, Au/GCE, MWCNT/GCE, dan Au/MWCNT/GCE berturut-turut adalah 0,05264 cm^2 , 0,06892 cm^2 , 0,05266 cm^2 , dan 0,07196 cm^2 . Luas area permukaan yang lebih besar dapat meningkatkan sensitivitas dan menurunkan limit deteksi sensor yang dikembangkan [18].



Gambar 2. Voltammogram siklik elektroda GCE (garis hitam), Au/GCE (garis merah), MWCNT/GCE (garis hijau), dan Au/MWCNT/GCE (garis biru) dalam 2 mM $K_3[Fe(CN)_6]$ dan 1 M KNO_3 , scan rate 100 mV/s

Voltammogram yang diperoleh dengan Au/MWCNT/GCE menunjukkan arus puncak yang lebih tinggi dibandingkan

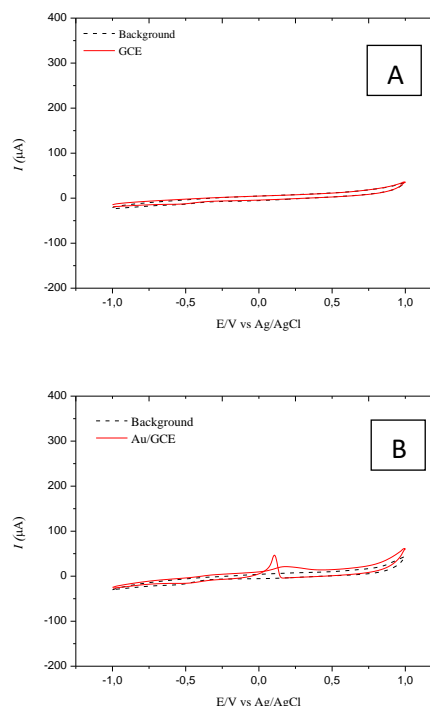
dengan yang lainnya. Arus diberikan sebagai produk kapasitansi dan laju perubahan potensial elektroda. Kapasitansi lapisan ganda mencerminkan luas permukaan yang lebih tinggi dari dinding samping tabung. Elektroda Au/MWCNT/GCE dibandingkan dengan elektroda lainnya menunjukkan luas permukaan yang lebih tinggi. Dengan ini maka dapat diinterpretasikan peningkatan arus kapasitif ke permukaan elektroaktif yang meningkat oleh MWCNT [19] dan lapisan tipis Au yang terbentuk pada permukaan elektroda dapat meningkatkan aktivitas katalitik pada elektroda [7]. Efek sinergis dari kedua material tersebut yang meningkatkan arus puncak.

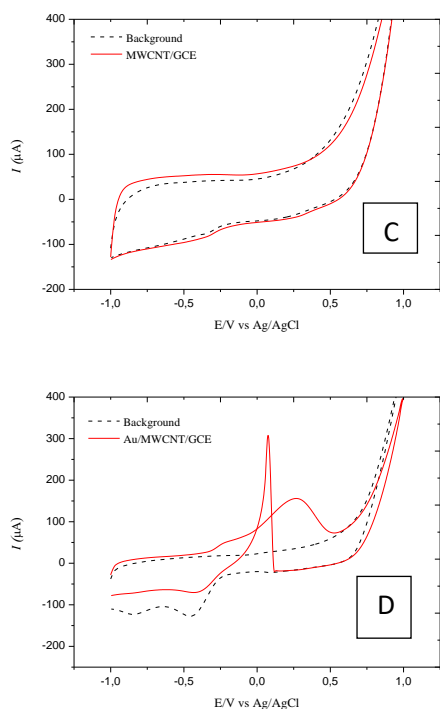
C. Perbandingan Elektroda Non Modifikasi dan Modifikasi terhadap Formaldehida

Metode voltametri siklik (CV) adalah metode awal dalam elektrokimia yang berisi informasi kualitatif mengenai reaksi elektrokimia [20]. Elektroda GCE, Au/GCE, MWCNT/GCE dan Au/MWCNT/GCE diukur dalam larutan uji 10 mM formaldehida dan 0,1 M KOH dengan rentang potensial -1 V hingga 1 V pada scan rate 100 mV/s.

Gambar 3A menunjukkan bahwa tidak ada respons yang diamati dari elektroda GCE non modifikasi. Tidak adanya puncak redoks yang diamati pada elektroda GCE menunjukkan bahwa formaldehida tidak aktif pada elektroda GCE[21]. Elektroda MWCNT/GCE pada Gambar 3C juga menunjukkan tidak adanya puncak redoks, hanya terjadi peningkatan pada luas permukaan pada elektroda.

Elektroda Au/GCE pada Gambar 3B menunjukkan puncak oksidasi I formaldehida pada 0,176 V dengan arus puncak yang terukur 10 μA dan puncak oksidasi formaldehida II pada potensial 0,106 V dengan arus puncak yang terukur 50 μA .



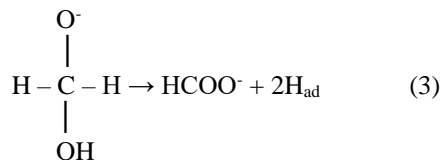
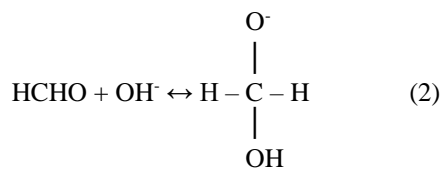


Gambar 3. Voltammogram siklik dari GCE (A), Au/GCE (B), MWCNT/GCE (C), dan Au/MWCNT/GCE (D) dalam 10 mM formaldehida dan 0,1 M KOH pada scan rate 100 mV/s

Dari hasil yang didapat pada Gambar 3D arus puncak oksidasi formaldehida I dan II mengalami peningkatan yang tinggi, ini menunjukkan lapisan tipis emas yang terdeposisi pada permukaan elektroda memiliki aktivitas elektrokatalitik yang lebih baik terhadap oksidasi formaldehida. Tidak adanya puncak reduksi yang terlihat pada voltametri siklik menunjukkan bahwa oksidasi formaldehida pada elektroda Au/MWCNT/GCE merupakan reaksi irreversibel [21].

Bagaimanapun, pada elektroda Au/MWCNT/GCE (Gambar 3D) menunjukkan arus puncak oksidasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan Au/GCE (Gambar 3B). Peningkatan arus puncak ini dapat dikaitkan dengan peningkatan luas permukaan aktif elektroda yang dimodifikasi dengan MWCNT [17] [19] dan lapisan tipis Au yang terbentuk pada permukaan elektroda dapat meningkatkan aktivitas katalitik pada elektroda [7]. Efek sinergi dari kedua material tersebut yang meningkatkan arus puncak oksidasi formaldehida.

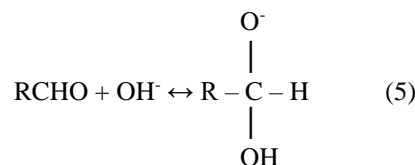
Oksidasi formaldehida yang terjadi pada elektroda dijelaskan pada reaksi berikut:



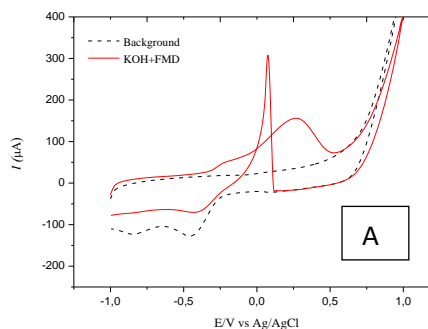
D. Pengaruh Varisi Supporting Electrolyte

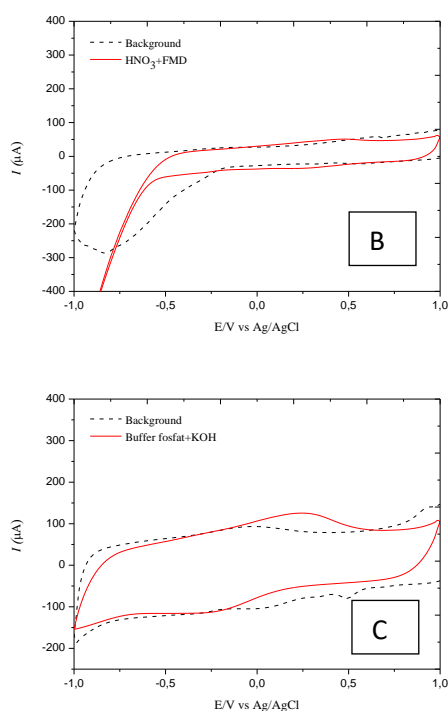
Pengaruh variasi *supporting electrolyte* dipelajari menggunakan larutan uji formaldehida 10 mM dengan larutan *supporting electrolyte* KOH 0,1 M, HNO₃ 0,1 M, dan buffer fosfat pH 7 dengan Teknik CV pada rentang potensial -1 hingga 1 V dengan scan rate 100 mV/s. Berdasarkan hasil analisis variasi *supporting electrolyte* yang didapatkan, KOH 0,1 M memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan HNO₃ 0,1 M dan PBS pH7 karena menghasilkan arus puncak oksidasi seperti yang terlihat pada Gambar 4.

Supporting electrolyte KOH 0,1 M memberikan arus puncak yang tajam dalam penentuan formaldehida, hal ini dikarenakan dalam larutan basa aldehida membentuk anion geminal diol dalam adisi nukleofilik hidroksida reversibel ke gugus karbonil. Aldehida teroksidasi dalam proses irreversible dua elektron menjadi karboksilat yang sesuai [22].



Pada media basa ini juga diol geminal dihasilkan dalam elektrooksidasi formaldehida [21]. Dapat disimpulkan bahwa larutan 0,1 M KOH merupakan larutan *supporting electrolyte* optimum dalam pengemangan sensor formaldehida.





Gambar 4. Voltammogram variasi *supporting electrolyte* (A) 0,1 M KOH, (B) 0,1 M HNO₃, dan (C) Buffer Fosfat pH 7, dalam 10 mM formaldehida dengan *scan rate* 100 mV/s

IV. KESIMPULAN

Pada penelitian ini, elektroda Au/MWCNT/GCE diuji untuk deteksi formaldehida menggunakan metode voltametri siklik. Au/MWCNT/GCE memberikan kinerja yang lebih baik pada penentuan formaldehida dibandingkan elektroda GCE, MWCNT/GCE, dan Au/GCE dikarenakan efek sinergis dari Au dan MWCNT terhadap GCE. Larutan *supporting electrolyte* yang optimum dalam mendeteksi formaldehida adalah KOH 0,1 M, karena memberikan hasil arus puncak oksidasi yang signifikan dibandingkan dengan *supporting electrolyte* lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Kimia Universitas Negeri Padang yang telah memfasilitasi penulis dalam melakukan penelitian ini. Selanjutnya, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Bapak/Ibu dosen yang Departemen Kimia atas bimbingan dan arahnya.

REFERENSI

- [1] H. Xi *et al.*, "Electrochemical determination of formaldehyde via reduced AuNPs@PPy composites modified electrode," *Microchemical Journal*, vol. 156, no. March, p. 104846, 2020.
- [2] A. S. Ganie, S. Bano, S. Sultana, S. Sabir, and M. Z. Khan, "Ferrite Nanocomposite Based Electrochemical Sensor: Characterization, Voltammetric and Amperometric Studies for Electrocatalytic Detection of Formaldehyde in Aqueous Media," *Electroanalysis*, vol. 33, no. 1, pp. 233–248, 2021.
- [3] A. S. Sebaei, A. M. Gomaa, A. A. El-Zwahry, and E. A. Emara, "Determination of formaldehyde by HPLC with stable precolumn derivatization in egyptian dairy products," *Int J Anal Chem*, vol. 2018, 2018.
- [4] W. Yuniati, T. Amelia, S. Ibrahim, and S. Damayanti, "Analytical Method Development for Determining Formaldehyde in Cream Cosmetics Using Hyphenated Gas Chromatography," *ACS Omega*, vol. 6, no. 42, pp. 28403–28409, 2021.
- [5] H. C. Loh, K. W. Chong, and M. Ahmad, "Quantitative analysis of formaldehyde using UV-VIS spectrophotometer pattern recognition and artificial neural networks," *Anal Lett*, vol. 40, no. 2, pp. 281–293, 2007.
- [6] J. Qiao, J. Chang, H. Wang, T. Sun, and C. Dong, "Determination of Formaldehyde with a Platinum–Palladium–Graphene Nanocomposite Glassy Carbon Electrode," *Anal Lett*, vol. 50, no. 1, pp. 80–90, 2017.
- [7] T. K. Sari *et al.*, "Eksakta," vol. 22, no. 02, pp. 145–153, 2021.
- [8] D. Trivedi, J. Crosse, J. Tanti, A. J. Cass, and K. E. Toghill, "The electrochemical determination of formaldehyde in aqueous media using nickel modified electrodes," *Sens Actuators B Chem*, vol. 270, no. May, pp. 298–303, 2018.
- [9] U. Nisa *et al.*, "Berbasis Elektrode Karbon Kaca Termodifikasi Pedot: PSS pada Suplemen Vitamin Komersial menggunakan Teknik Differential Pulse," vol. 7, no. 02, pp. 132–144, 2022.
- [10] A. M. Abdel-Aziz, H. H. Hassan, and I. H. A. Badr, "Activated Glassy Carbon Electrode as an Electrochemical Sensing Platform for the Determination of 4-Nitrophenol and Dopamine in Real Samples," *ACS Omega*, vol. 7, no. 38, pp. 34127–34135, 2022.
- [11] T. A. Abdullah *et al.*, "Functionalized multi-walled carbon nanotubes for oil spill cleanup from water," *Clean Technol Environ Policy*, vol. 24, no. 2, pp. 519–541, 2022.
- [12] A. A. Saeed *et al.*, "Electrocatalytic Nitrite Determination Using Iron Phthalocyanine Modified Gold Nanoparticles." [Online]. Available: www.electroanalysis.wiley-vch.de
- [13] N. D. Zakaria *et al.*, "Effect of Supporting Background Electrolytes on the Nanostructure Morphologies and Electrochemical Behaviors of Electrodeposited Gold Nanoparticles on Glassy Carbon Electrode Surfaces," *ACS Omega*, vol. 6, no. 38, pp. 24419–24431, Sep. 2021.
- [14] A. N. Kawde, N. Baig, and M. Sajid, "Graphite pencil electrodes as electrochemical sensors for environmental analysis: A review of features, developments, and applications," *RSC Advances*, vol. 6, no. 94, Royal Society of Chemistry, pp. 91325–91340, 2016.
- [15] P. Westbroek, "Fundamentals of electrochemistry," in *Analytical Electrochemistry in Textiles*, Elsevier Inc., 2005, pp. 3–36.
- [16] R. Jain and S. Sharma, "Glassy carbon electrode modified with multi-walled carbon nanotubes sensor for the quantification of antihistamine drug pheniramine in solubilized systems," *J Pharm Anal*, vol. 2, no. 1, pp. 56–61, 2012.
- [17] M. A. Chamjangali, A. A. Reskety, N. Goudarzi, G. Bagherian, and A. H. Momeni, "Construction and characterization of GCE/MWCNT/Au-NP as a new impedimetric and voltammetric sensor for determination of gemfibrozil in pharmaceutical and biological samples," 2018.
- [18] I. A. Tayeb and K. Abdul Razak, "Development of Gold Nanoparticles Modified Electrodes for the Detection of Heavy Metal Ions," in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, Sep. 2018.
- [19] S. L. Belli, S. P. Oh, S. Kaur, M. A. Pearce, and C. J. Smart, "Multiwall CVD Carbon Nanotubes as Insulated Nanowires," *ECS Trans*, vol. 35, no. 25, pp. 23–29, Oct. 2011.
- [20] J. Wang, "Analytical electrochemistry," in *Choice Reviews Online*, New York: A John Wiley & Sons, 2001, pp. 38-5590-38-5590.
- [21] J. Zhang, L. Shangguan, and C. Dong, "Electrocatalytic oxidation of formaldehyde and formic acid at Pd nanoparticles modified glassy carbon electrode," in *Micro and Nano Letters*, 2013, pp. 704–708.
- [22] R. R. Adc, M. L. Avramov-Lvic, and A. V. Tripkovic, "Structural Effects in Electrocatalysis: Oxidation of Formaldehyde on Gold and Platinum Single Crystal Electrodes in Alkaline Solution."