

## Screen Printed-Carbon Electrode Modifikasi Bismut untuk Analisis Kadmium dengan Voltametri Siklik

Novianti<sup>\*1</sup>, R. V. Manurung<sup>2</sup>, Arifin<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, Indonesia

<sup>2</sup>Pusat Penelitian Elektronika dan Instrumentasi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia  
e-mail: <sup>\*</sup>noviantitaha@gmail.com, <sup>2</sup>rvmanurung@gmail.com, <sup>3</sup>Arifinpide@gmail.com

### Abstrak

Kadmium (Cd) merupakan logam berat yang memiliki toksisitas yang tinggi. Kadar kadmium perlu diketahui secara pasti karena di lingkungan perairan dapat terakumulasi dan dapat meracuni semua komponen biotik. Pada penelitian ini telah dilakukan pengukuran logam kadmium menggunakan screen printed carbon electrode termodifikasi bismut dengan metode voltametri siklik. Parameter yang diamati yaitu stabilitas dari elektroda pembanding dan tegangan yang dihasilkan dari varian konsentrasi kadmium. Hasil uji stabilitas menunjukkan kestabilan tiga buah sensor masing-masing berkisar pada tegangan 3,3 - 4,6 mV, 9,3 - 11,4 mV, dan 27,4 - 29,8 mV. Sedangkan hasil uji karakterisasi voltametri siklik bervariasi bergantung dari konsentrasi kadmium. Konsentrasi 0,5 ng/mL - 100 ng/mL menghasilkan puncak oksidasi pada arus  $2,03 \times 10^{-5}$  -  $5,00 \times 10^{-5}$  A. Hasil ini menunjukkan hubungan berbanding lurus antara konsentrasi kadmium dengan arus yang dihasilkan.

**Kata kunci**—screen printing, elektroda karbon, kadmium, bismut, voltametri siklik

### Abstract

Cadmium (Cd) is a heavy metal that has high toxicity. Cadmium levels need to be considered in an environment that can accumulate and can poison all biotic components. In this research measurements of cadmium metal using bismuth-modified carbon screen electrode used cyclic voltammetry method. The parameters considered are the resolution of the comparative electrodes and the voltage produced from variations in cadmium concentration. The test results prove the stability of three sensors each at a voltage of 3.3 - 4.6 mV, 9.3-11.4 mV, and 27.4 - 29.8 mV. While the results of the cyclic voltammetry characterization test vary depending on the concentration of cadmium. Concentrations of 0.5-100 ng / mL produce an oxidation peak at a current of  $2.03 \times 10^{-5}$  -  $5.00 \times 10^{-5}$  A. These results show a directly proportional relationship between the cadmium concentration and the resulting current.

**Keywords**—screen printing, carbon electrode, cadmium, bismuth, cyclic voltammetry

## 1. PENDAHULUAN

Logam berat dilepaskan langsung ke lingkungan dari hasil kegiatan industri. Logam-logam ini dikenal sebagai racun metabolisme umum dan penghambat enzim. Beberapa diantaranya seperti Hg(II), Cu(II), Cd(II), Pb(II), dan Cr(VI) menjadi karsinogen (zat penyebab penyakit kanker) dan terlibat dalam berbagai penyakit seperti penyakit Parkinson, penyakit Alzheimer, *multiple sclerosis*, serta gangguan perkembangan dan kegagalan banyak organ [1]. Logam kadmium merupakan satu dari beberapa logam berat yang memiliki toksisitas dan merupakan zat pencemar yang sangat berbahaya [2]. Umumnya, kadmium ditemukan dalam jumlah yang relatif sedikit tetapi tingkat toksisitas yang tinggi karena tergolong dalam klasifikasi logam berat serta sukarnya mengalami pelapukan baik secara fisika, biologi, maupun kimiawi [3].

Telah digunakan beberapa metode dalam analisis logam berat salah satunya menggunakan teknik *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) dengan sensitivitas yang cukup dalam mendeteksi logam berat. Namun, metode ini masih memiliki kelemahan yakni limit deteksinya yang tinggi sehingga sulit untuk mendeteksi pada konsentrasi rendah, biaya operasi yang tinggi, sulitnya untuk diterapkan langsung di lapangan [4]. Berdasarkan hal tersebut diperlukan adanya metode alternatif yang mudah untuk analisis logam berat antara lain menggunakan metode voltametri. Voltametri merupakan salah satu metode elektroanalisis digunakan untuk mengetahui informasi elektrokimia dari analit dengan memberikan potensial sehingga dapat diketahui hubungan antara arus yang dihasilkan terhadap potensial yang diberikan [5].

Penelitian Chaiyo, dkk (2016) mendapatkan hasil bahwa teknik voltametri sensor elektrokimia dapat dijadikan metode alternatif dalam penentuan kadar logam berat. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini yakni penentuan kadar logam berat pada air minum [4]. Metode voltametri juga digunakan dalam penentuan kadar tembaga dalam penelitian Irdhawati, dkk (2017) dan hasil yang didapat menyatakan bahwa voltametri dapat dijadikan teknik alternatif elektrokimia dalam analisis logam berat [6].

Analisis logam berat dengan teknik voltametri memerlukan elektroda kerja. Salah satu elektroda kerja yang sering digunakan yaitu *screen printed-carbon electrode* (SPCE) atau elektroda pasta karbon. SPCE memiliki banyak kelebihan seperti biaya rendah, efisiensi tinggi, mudah dibawa dan digunakan, analisis cepat, dan ukuran sampel yang kecil sehingga sangat prospektif untuk pengembangan sensor [7]. Kinerja SPCE dapat ditingkatkan dengan modifikasi secara kimia. Modifikasi secara kimia bertujuan untuk laju transfer elektron ke permukaan elektroda [6]. Beberapa SPCE telah dimodifikasi secara kimia dalam penentuan kadar logam berat seperti penelitian yang telah dilakukan oleh Rana, dkk (2016) yang memodifikasi SPCE dengan *schiff base* untuk mendeteksi aluminium [8]. Irdhawati, dkk (2017) yang menggunakan zeolit pada elektroda pasta karbon untuk analisis logam tembaga [6]. Penelitian selanjutnya oleh Rohaeti, dkk (2018) yang menggunakan polimer tercetak molekul/*molecul imprinted polymer* (MIP) untuk mendeteksi glutation [7]. Dengan modifikasi yang sama, Yucebas, dkk (2019) juga menggunakan MIP untuk mendeteksi paraben [9]. *Modifier* yang tepat sangat berpengaruh pada reaktivitas elektroda sehingga pemilihannya sangat penting dalam pembuatan SPCE. Salah satu *modifier* yang dapat digunakan adalah bismut. Bismut memiliki sifat yang menarik, diantaranya desain yang sederhana, sensitivitas tinggi, resolusi puncak yang baik, serta ketidakpekaannya terhadap oksigen terlarut [10].

Perkembangan teknologi khususnya pada bidang industri dan kesehatan telah banyak memanfaatkan penggunaan elektroda sensor. Salah satu hasil fabrikasi elektroda sensor yakni digunakan untuk mendeteksi glukosa dengan tingkat sensitivitas yang tinggi menggunakan komposit nanopartikel emas yang dilapisi di atas permukaan elektroda karbon [11]. Disamping itu, pemanfaatan graphene oxide dalam mendeteksi parasetamol, epinefrin dan dopamine [12].

Dalam penelitian ini, dilakukan analisis logam kadmium dengan metode voltametri siklik dengan *screen printed-carbon electrode* yang dimodifikasi dengan bismut film. Modifikasi bismut di permukaan elektroda kerja diharapkan mampu meningkatkan kinerja

sensor melihat kemampuan bismut yang tidak peka terhadap oksigen terlarut serta dapat membentuk paduan intermetalik dengan logam berat. Luaran yang diharapkan yakni sebuah miniatur sensor elektroda yang dapat dimanfaatkan dalam menunjang perkembangan teknologi khususnya pada bidang industri dan kesehatan.

## 2. METODE PENELITIAN

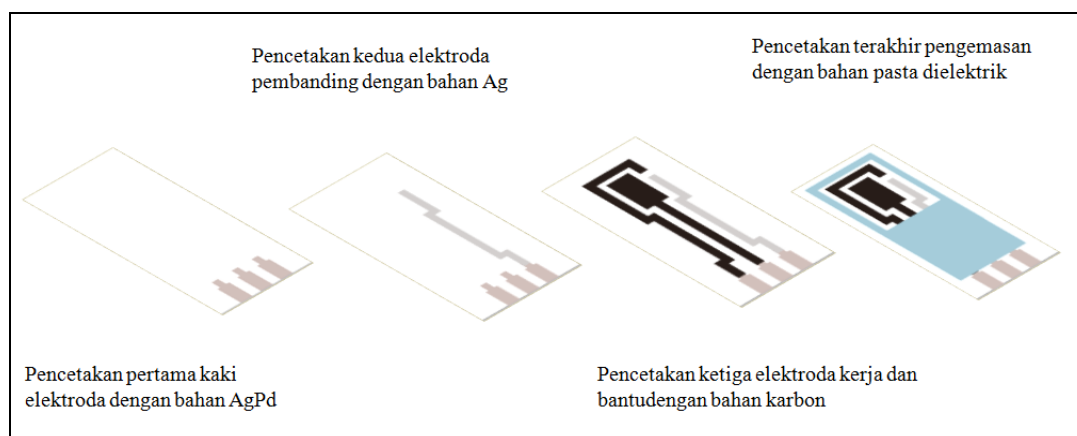
### 2.1 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari: potensiostat *CorrTest CS350*, *Screen Printing De Haast*, *Screen Maker 300 TT*, *ultrasonic cleaner*, *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*, *Scanning Electron Microscopy (SEM)*, *Radiant Technology Corporation (RTC)*, rakel, substrat, oven, cawan pentri, pengering (*hair dryer*), pemotong keramik, *screen*, gelas kimia, timbangan *analytical balance*, elektroda referensi pabrikan, gelas ukur, multimeter, dan catu daya, sedangkan bahan-bahan yang digunakan ialah: bismut, pasta karbon (C), CDF (*Capillary Direct Film*), pasta perak (Ag), aseton, pasta *Palladium Silver Conductive Paste (AgPd)*, KFeCN, KCl, ulano 133, air suling, asam asetat, ulano 133 sensitizer, ulano stencil remover paste 5, natrium asetat, kadmium, aluminium foil, pasta bahan dielektrik, dan platina.

### 2.2 Prosedur Penelitian

#### 2.2.1 Fabrikasi

Secara garis besar, proses fabrikasi terdiri dari proses *masking*, pencetakan dan *firing*, dan terakhir adalah proses pemotongan. Pada Gambar 1 ditunjukkan alur pencetakan elektroda sensor elektrokimia.



Gambar 1 Alur pencetakan elektroda sensor

Proses pencetakan dimulai dari kaki elektroda yang menggunakan pasta AgPd, keemudian elektroda pembanding dengan pasta Ag. Sebelum pencetakan ketiga yakni elektroda kerja dan bantu, hasil cetakan kaki elektroda dan elektroda pembanding di *firing* pada suhu 850°C selama 40 menit. Selanjutnya, pada pencetakan ketiga menggunakan pasta karbon, yang setelah dicetak langsung dimasukkan ke oven dengan suhu 150°C selama 30 menit. Kemudian pencetakan terakhir yakni pengemasan menggunakan pasta bahan dielektrik dan juga di oven pada suhu 150°C selama 20 menit.

### 2.2.2 Karakterisasi Elektroda Pembanding Ag/AgCl

Pada proses ini dilakukan karakterisasi pada elektroda pembanding sensor untuk mengetahui stabilitas tegangan yang dihasilkan. Proses ini menggunakan *software* WinDMM 500 yang dihubungkan pada multimeter yang juga terhubung dengan elektroda pembanding dan elektroda pembanding hasil pabrikan. Larutan yang digunakan larutan KCl dengan konsentrasi 2M dan pengambilan data untuk uji stabilitas dilakukan selama 10 menit.

### 2.2.3 Modifikasi Elektroda Kerja dengan Bismut

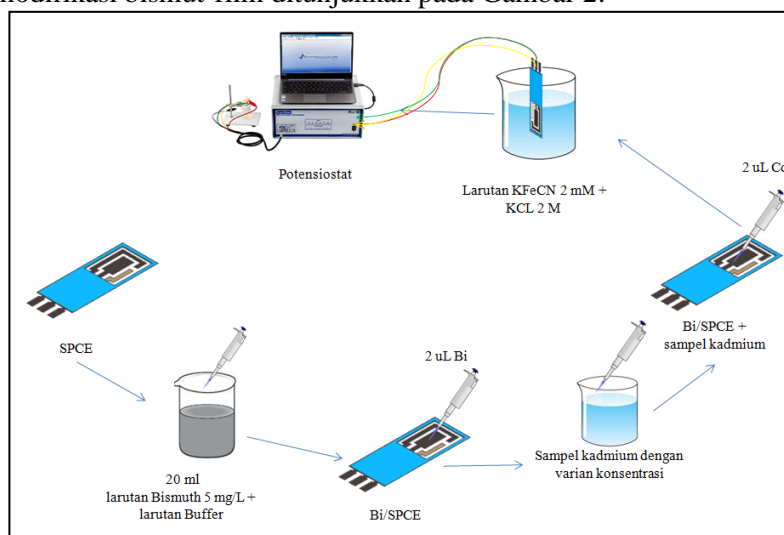
Modifikasi elektroda kerja bertujuan untuk meningkatkan kinerja sensor. Proses ini menggunakan larutan standar bismut yang telah diencerkan. Proses pelapisan pada elektroda kerja sensor ditetesi langsung dengan bismut-film sebanyak 2 uL atau proses ini biasa disebut *drop-casting*. Kemudian sensor yang telah ditetesi dikeringkan dalam cawan pentri.

### 2. 2.4 Preparasi Sampel

Preparasi sampel untuk karakterisasi CV menggunakan larutan standar bismut. Langkah pertama yakni mencuci botol sampel dengan air suling kemudian dikeringkan. Selanjutnya dilakukan pengenceran larutan kadmium dengan beberapa variasi konsentrasi mulai dari konsentrasi 0,5 ng/mL - 100 ng/ml, setelah itu dimasukkan ke botol sampel. Sampel ini akan ditetaskan pada elektroda kerja yang sebelumnya telah ditetesi dengan bismut.

### 2. 2.5 Proses Karakterisasi Voltametri Siklik

Karakterisasi voltametri siklik dilakukan untuk mengetahui arus puncak oksidasi yang dihasilkan pada elektroda kerja sensor saat bismut bereaksi dengan analit yakni kadmium. Proses karakterisasi voltametri siklik dengan sampel kadmium menggunakan elektroda sensor elektrokimia modifikasi bismut-film ditunjukkan pada Gambar 2.



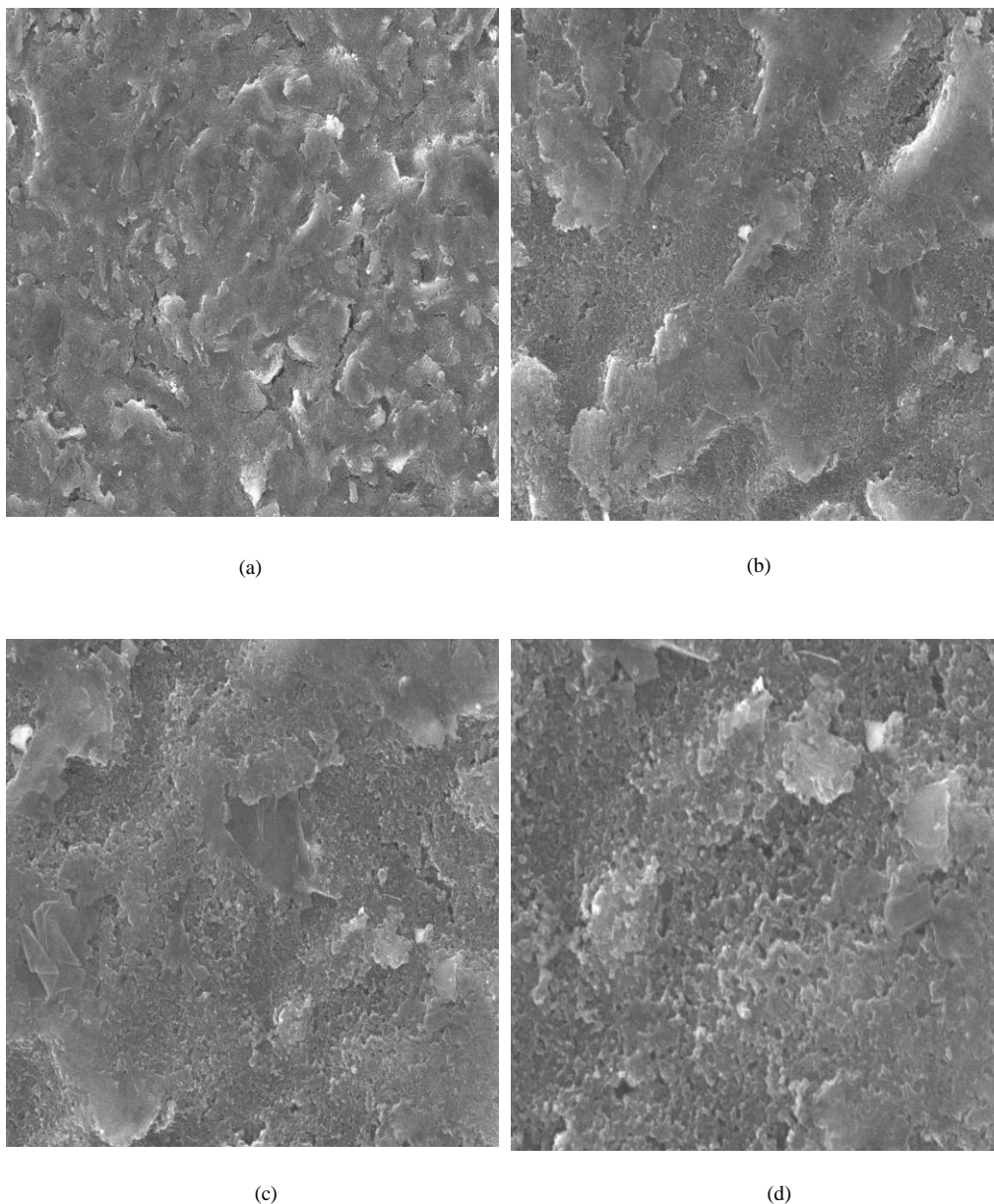
Gambar 2 Proses karakterisasi voltametri siklik

Pada proses di atas menggunakan alat potensiostat *CorrTest CS350* dengan *scan rate* 100 mV/s dan frekuensi 100 Hz serta rentang tegangan *input* yang diberikan sebesar -1 V sampai 1 V. Jumlah siklus yang digunakan pada tiap-tiap sampel adalah 1 siklus. Adapun keluaran yang akan dihasilkan adalah grafik voltamogram perbandingan antara penambahan konsentrasi tiap sampel terhadap puncak arus oksidasi dan reduksi yang dihasilkan.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Karakterisasi SEM

Karakterisasi SEM (*scanning electron miscroscopy*) dilakukan untuk mengetahui struktur permukaan dari elektroda kerja sensor yang berlapis bismut yang nantinya akan diketahui bagaimana reaktivitas elektroda dilihat dari struktur permukaannya. Sebelum diuji, sensor dibersihkan terlebih dahulu dengan air suling kemudian dikeringkan. Setelah itu, ditetesi bismut film 2 uL pada elektroda kerja dari sensor. Adapun hasil morfologi permukaan Bi-SPCE menggunakan SEM ditunjukkan pada Gambar 3.

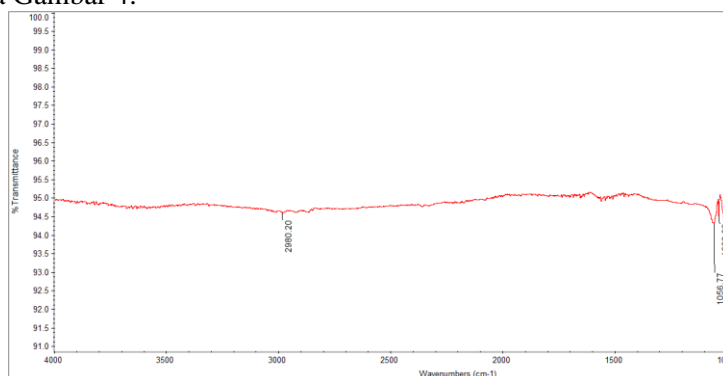


Gambar 3 Morfologi permukaan Bi-SPCE (a) Perbesaran 1000x; (b) Perbesaran 3000x; (c) Perbesaran 5000x; (d) 10000x

Morfologi permukaan Bi-SPCE diamati menggunakan SEM. Dari gambar di atas terdapat empat hasil perbesaran dari permukaan elektroda. Permukaan SPCE yang terdapat lapisan bismut tampak lebih halus, yang menjelaskan telah terbentuknya lapisan tipis bismut yang menutupi permukaan karbon seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. lapisan karbon yang memiliki banyak pori berfungsi sebagai tempat menjebak (mengikat) ion bismut yang nantinya bereaksi dengan analit yakni kadmium.

### 3.2 Karakterisasi FTIR

Karakterisasi FTIR digunakan untuk mengetahui jenis-jenis ikatan yang terjadi pada permukaan elektroda kerja sensor. Hasil morfologi permukaan Bi-SPCE menggunakan FTIR ditunjukkan pada Gambar 4.

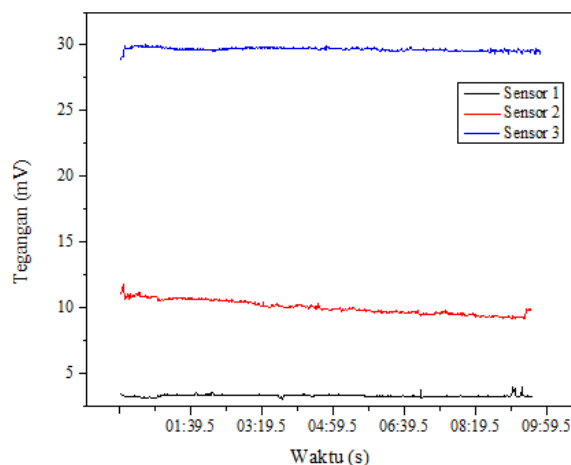


Gambar 4 Spektrum inframerah pada permukaan elektroda Bi-SPCE

Berdasarkan hasil pengujian sampel menggunakan FTIR diperoleh grafik spektrum *infrared* dari permukaan elektroda. Spektrum *infrared* untuk elektroda SPCE berlapis bismut, terdiri dari tiga peak yang menonjol. Peak-peak tersebut memiliki nilai masing-masing yang ditunjukkan pada tabel yaitu pada bilangan gelombang  $2980,20\text{ cm}^{-1}$  disebabkan oleh ikatan dari C-H tipe senyawa alifatik. Pada bilangan gelombang  $1056,77\text{ cm}^{-1}$  disebabkan oleh ikatan dari C-O tipe senyawa alkohol, eter, asam karborsilat, ester. Pada bilangan gelombang  $1033,08\text{ cm}^{-1}$  disebabkan oleh ikatan dari C-O tipe senyawa alkohol, eter, asam karborsilat, ester.

### 3.3 Karakterisasi Elektroda Pembanding

Karakterisasi elektroda pembanding dilakukan untuk mengetahui tingkat kestabilan tegangan dari elektroda pembanding apakah nantinya dapat dijadikan sebagai pembanding tegangan untuk elektroda kerja. Grafik hasil pengukuran uji stabilitas elektroda pembanding dengan menggunakan tiga buah sensor ditunjukkan pada Gambar 5.

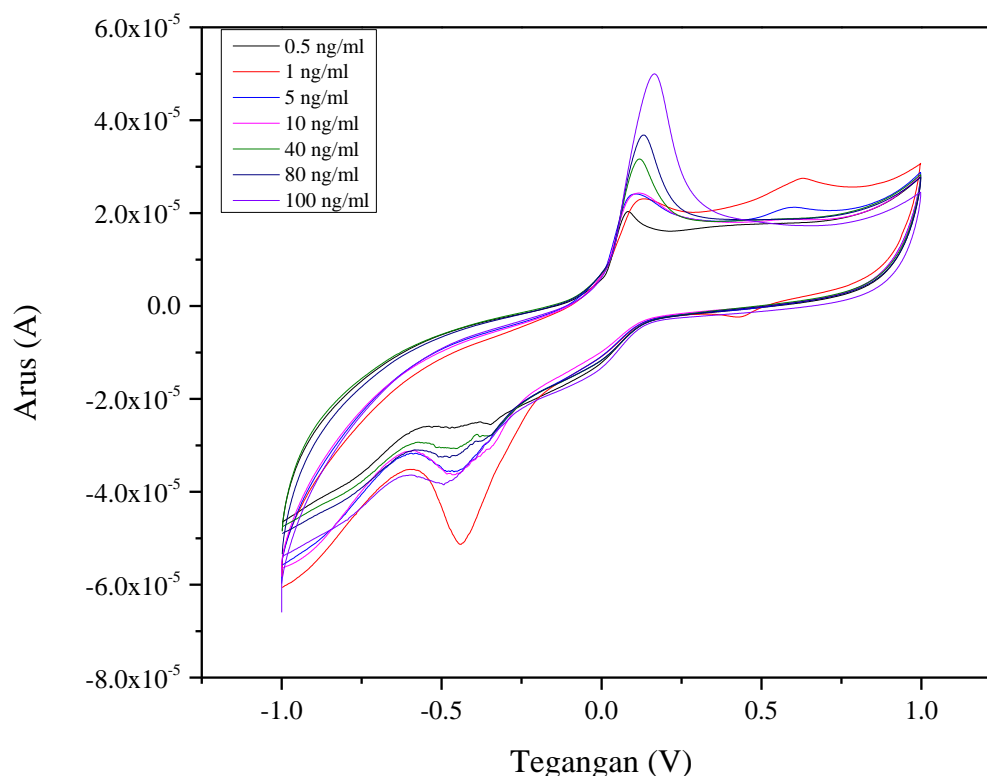


Gambar 5 Grafik pengukuran stabilitas elektroda pembanding

Pada uji stabilitas elektroda pembanding parameter yang dibutuhkan adalah adanya garis lurus dari grafik tegangan terhadap waktu. Berdasarkan grafik yang dihasilkan, ketiga elektroda pembanding sensor menunjukkan kestabilan yang cukup baik. Dilihat pada sensor pertama yang memiliki jangkauan tegangan 3,3 mV - 4,6 mV, untuk sensor kedua memiliki jangkauan tegangan 9,3 mV - 11,4 mV, dan untuk sensor ketiga memiliki jangkauan tegangan sebesarnya 27,4 mV - 29,8 mV. Dari hasil ini dapat dinyatakan bahwa ketiga elektroda pembanding sensor dapat digunakan sebagai pembanding tegangan untuk elektroda kerja.

### 3.4 Karakterisasi Voltametri Siklik

Proses karakterisasi dilakukan dengan mensterilkan sensor terlebih dahulu kemudian melakukan drop-casting lapisan bismut 2 uL ke elektroda kerja sensor. Setelah kering, diteteskan larutan kadmium dari beberapa konsentrasi sebanyak 2 uL juga pada elektroda kerja sensor kemudian dikeringkan. Selanjutnya, bagian kepala sensor yang terdiri dari tiga elektroda dimasukkan ke dalam larutan KFeCN yang di dalamnya juga terdapat larutan KCl. Sementara pada kaki elektroda dihubungkan ke komputer untuk dilakukan karakterisasi. Voltamogram hasil pengukuran arus puncak oksidasi terhadap varian konsentrasi kadmium menggunakan SPCE berlapis bismut ditunjukkan pada Gambar 6.



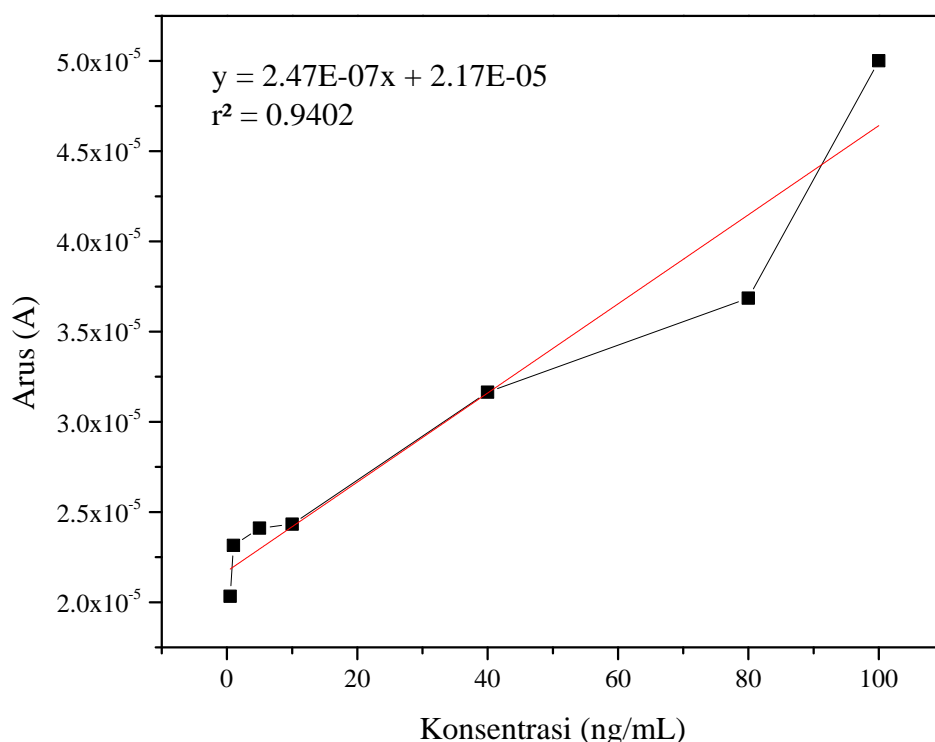
Gambar 6 Grafik pengaruh varian konsentrasi kadmium terhadap peak arus yang dihasilkan

Berdasarkan voltamogram di atas, dapat dilihat bahwa adanya peningkatan arus puncak oksidasi dari pengaruh konsentrasi kadmium. Pada konsentrasi 5 ng/mL menghasilkan  $2,31 \times 10^{-5}$  A, konsentrasi 10 ng/mL menghasilkan  $2,43 \times 10^{-5}$  A, konsentrasi 40 ng/mL menghasilkan  $3,03 \times 10^{-5}$  A, konsentrasi 80 ng/mL menghasilkan  $3,58 \times 10^{-5}$  A, dan konsentrasi 100 ng/mL

menghasilkan  $5,00 \times 10^{-5}$  A. Dari hasil ini juga dapat dinyatakan bahwa semakin tinggi penambahan konsentrasi kadmium, semakin tinggi pula arus puncak oksidasi yang dihasilkan.

### 3.5 Linearitas

Linieritas bertujuan untuk menentukan hubungan konsentrasi kadmium yang dianalisis dengan arus puncak oksidasi dan reduksi yang dihasilkan. Linieritas antara arus yang dihasilkan dengan konsentrasi dinyatakan baik apabila harga koefisien korelasi ( $r$ ) persamaan regresi linier mendekati atau sama dengan 1 [29]. Grafik linieritas konsentrasi kadmium dengan arus yang dihasilkan menggunakan SPCE modifikasi bismut dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Grafik pengaruh varian konsentrasi kadmium terhadap peak arus yang dihasilkan

Berdasarkan hasil uji linieritas di atas, diperoleh persamaan garis dari kurva standar  $y = 2,47 \cdot 10^{-7}x + 2,17 \cdot 10^{-5}$  dari linieritas ini didapatkan koefisien regresi ( $r$ ) 0,9402. Hal ini dapat dikatakan bahwa jangkauan konsentrasi kadmium 0,5 – 100 ng/mL menghasilkan hubungan linier yang cukup baik antara konsentrasi dengan arus yang dihasilkan.

## 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa kestabilan tegangan dari elektroda pembanding pada sensor yang digunakan cukup baik. Hal ini dilihat dari grafik tegangan terhadap waktu yang dihasilkan yang menunjukkan pola garis lurus yang



artinya tegangan yang dihasilkan tetap, sehingga dapat digunakan sebagai pembanding tegangan pada elektroda kerja. Untuk hasil voltametri siklik, terjadi peningkatan arus puncak oksidasi pada penambahan konsentrasi kadmium. Semakin tinggi konsentrasi kadmium, semakin tinggi pula arus puncak oksidasi yang dihasilkan. Dari hasil yang didapatkan menunjukkan adanya tingkat selektivitas yang cukup tinggi dari sensor elektroda karbon hasil fabrikasi menggunakan komposit kadmium. Hal ini diharapkan dapat menjadi pembanding serta sebuah miniatur sensor yang dapat dimanfaatkan pada bidang industri.

## 5. SARAN

Saran untuk penelitian selanjutnya yakni pada modifikasi elektroda kerja agar menggunakan lebih dari dua komposit untuk mendapatkan peak tegangan dari reaksi redoks agar semakin tinggi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada semua pihak yang membantu terlaksananya penelitian ini di Laboratorium Sensor dan Biosensor Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (PPET-LIPI) Bandung, dan juga semua pihak di Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin, Makassar.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Ourari, F. Tennah, R. R. Rosas, D. Aggoun, E. Morallon, "Bentonite modified carbon paste electrode as a selective electrochemical sensor for the detection of cadmium and lead in aqueous solution", *International Journal of Electrochemical Science*, vol. 13, pp. 1683-1699, 2018.
- [2] N. K. T. Martuti, H. A. Sanjivanie, S Ngabekti, "Bioakumulasi Kadmium Pada Ikan Bandeng di Tambak Dukuh Tapak Semarang", *Jurnal MIPA*, vol. 39, no. 2, pp. 92-97, 2016.
- [3] T. Wijayanti dan D. E. G. Lestari, "Bioremediasi Limbah Tercemar Kadmium (Cd) pada Perairan di Kabupaten Pasuruan Menggunakan Bakteri Indigen Secara Ex-Situ", *Jurnal Pena Sains*, vol. 4, no. 2, pp. 114-123, 2017.
- [4] S. Chaiyo, E. Mehmeti, K. Zagar, W. Siangproh, O. Chailapakul, K. Kalcher, "Electrochemical Sensors for The Simultaneous Determination of Zinc, Cadmium, and Lead Using a Nafion/Ionic Liquid/Graphene Composite Modified Screen-Printed Carbon Electrode", *Analytica Chimica Acta*, 2016.
- [5] Irdhawati, E. Sahara, I. W. Hermawan, "Teknik Voltametri Pelucutan Anodik Untuk Penentuan Kadar Logam Cu (II) Pada Air Laut Pelabuhan Benoa", *Jurnal Kimia*, vol. 10, no. 1, pp. 81-88, 2016.
- [6] Irdhawati, H. Suyanto, P. Y. Andani, "Penggunaan Elektroda Pasta Carbon Termodifikasi Zeolit Untuk Analisis Logam Cu Secara Voltametri Pelucutan Anodik", *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, vol. 13, no. 1, pp. 1-16, 2017.
- [7] E. Rohaeti, W. T. Wahyuni, M. A. Rohman, "Modifikasi Screen Printed Carbon Electrode dengan Polimer Tercetak Molekul (MIP) dan Aplikasinya untuk Deteksi Glutation", *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, vol. 3, no. 1, pp. 47-60, 2018.

- [8] S. Rana, S. K. Mittal, N. Singh, J. Singh, C. E. Banks, "Schiff base modified screen printed electrode for selective determination of Aluminium (III) at trace level", *Sensors and Actuators B*, pp. 1-37, 2016.
- [9] B. B. Yucebas, Y. T. Yaman, G. Bolat, E. Ozgur, L. Uzun, S. Abaci, "Molecular Imprinted Polymer Based Electrochemical Sensor for Selective Detection of Paraben", *Sensors and Actuators: B*, Chemical 2019.
- [10] Z. Lu, J. Zhang, W. Dai, X. Lin, J. Ye, J. Ye, "A screen-printed carbon electrode modified with a bismuth film and gold nanoparticles for simultaneous stripping voltammetric determination of Zn(II), Pb(II), and Cu(II)", *Microchim Acta*, vol. 184, pp. 4731-4740, 2017.
- [11] D. Maity, Minitha C. R., Rajendra, K. R. T., "Glucose oxidase immobilized amine terminated multiwall carbon nanotubes/reduced grapheme oxide/polyanilinegold nanoparticles modified screen-printed carbon electrode for highly sensitive amperometric glucose detection", *Materials Science & Engineering C*, vol. 105, pp. 1-10, 2019.
- [12] G. Ibanez-Redin, D. Wilson, D. Goncalves, O.N. Oliveira Jr, "Low-cost screen-printed electrodes based on electrochemically reduced graphene oxide-carbon black nanocomposites for dopamine, epinephrine and paracetamol detection", *Journal of Colloid and Interface Science*, pp. 1-22, 2017. [] A. A. Kava, C. Beardsley, J. Hofstetter, C. S. Henry, "Disposable Glassy Carbon Stencil Printed Electrodes for Trace Detection of Cadmium and Lead", *Analytica Chimica Acta*, pp. 1-33, 2019.
- [13] L. Durai dan S. Badhulika, "Ultra-selektive, trace level detection of As<sup>3+</sup> ions in blood samples using PANI coated BiVO<sub>4</sub> modified SPCE via differential pulse anode stripping voltammetry", *Materials Science & Engineering C*, pp. 1-31, 2020.
- [14] G. Ibanez-Redin, D. Wilson, D. Goncalves, O.N. Oliveira Jr, "Low-cost screen-printed electrodes based on electrochemically reduced graphene oxide-carbon black nanocomposites for dopamine, epinephrine and paracetamol detection", *Journal of Colloid and Interface Science*, pp. 1-22, 2017.
- [15] S. Zhou, X. Guo, L. Meng, J. Cui, J. Li, X. Yuan, D. Wu, "A miniature electrochemical detection system based on GOQDs/MWCNTs/SPCE\* for determination the purine in cells", *Analytical Biochemistry*, vol. 577, pp. 67-72, 2019.