

Prototipe *Screen-Printed Carbon Electrode* Dengan Modifikasi Material Nanokomposit *ZnO/Pva* Untuk Mendeteksi *Cadmium* Pada Sampel Cairan

1st Theresia Deviyana Gunawan

Fakultas Teknik Elektro

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

theresiadeviyana@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Abrar

Fakultas Teknik Elektro

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

abrarselah@telkomuniversity.ac.id

3rd Asep Suhendi

Fakultas Teknik Elektro

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

suhendi@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Salah satu polutan yang sering dijumpai pada lingkungan perairan yaitu logam berat. Keberadaan logam berat dapat menjadi ancaman kesehatan bagi makhluk hidup, salah satunya adalah kadmium sebagai logam berat dengan tingkat toksisitas tertinggi. Pemanfaatan SPE dalam sebagai pendeteksi logam berat sudah banyak dipelajari karena kemudahan dalam fabrikasi serta penggunaan sampel dalam jumlah yang kecil. Dalam studi eksperimen kali ini SPE dengan material dasar *working electrode* karbon atau SPCE telah berhasil difabrikasi dengan menggunakan modifikasi material nanokomposit ZnO/PVA, karena sifat listrik serta mobilitas elektron yang baik. Pengujian terhadap logam berat kadmium dengan variasi konsentrasi 0-80 ppm telah berhasil dilakukan dengan metode *square wave voltammetry* dan didapatkan parameter sebagai berikut koefisien determinasi 88%, sensitivitas 1.7×10^{-4} A/ppm pada pengukuran linear 0-80 ppm, dan LOD 0.112 ppm. Sehingga nanokomposit ZnO/PVA merupakan material yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai material modifikasi pendeteksi logam berat.

Kata kunci— Kadmium, LOD, Nanokomposit ZnO/PVA, Sensitivitas, SPCE.

I. PENDAHULUAN

Air merupakan salah satu sumber daya alam utama dalam menunjang berbagai aktivitas kehidupan sehari-hari. Sehingga air yang digunakan untuk beraktivitas perlu memenuhi standar baku mutu kesehatan lingkungan yang telah ditetapkan secara nasional maupun internasional, seperti yang tertulis pada BSN (Badan Standar Nasional) dan US EPA. Saat ini sering kali lingkungan perairan seperti sungai dalam kondisi sudah tercemar dengan polutan berbahaya, salah satunya adalah logam berat. Keberadaan logam berat pada sungai meningkat seiring meningkatnya aktivitas industri, pertanian, dan pertambangan disekitar sungai. Salah satu logam berat yang umum mencemari sungai adalah kadmium yang berasal dari perpaduan metalurgi pertambangan serta berdampak buruk bagi lingkungan. Kadmium menjadi logam berat dengan tingkat toksisitas tertinggi diantara logam berat yang berada di alam serta

menyebabkan berbagai ancaman kesehatan apabila terakumulasi di dalam tubuh. Menurut BSN batas maksimum yang ditetapkan untuk air mineral alami dan kemasan untuk kadmium berada pada nilai 0.003 mg/l, sedangkan standar maksimum debit limbah industri yang ditetapkan US EPA untuk kadmium berada pada nilai 0.005 mg/l [1], [2].

Pendeteksi logam berat berbasis *screen-printed electrode* (SPE) merupakan salah satu pendeteksi yang memberikan kemudahan dalam pengaplikasian dengan pengujian sampel yang lebih efektif. Kelebihan SPE dengan bentuk yang kecil, fleksibel, dan sekali pakai dapat mengurangi masalah kontaminasi dan mengurangi biaya operasional [3]. Prinsip pengukuran yang diterapkan pada SPE dalam melakukan pendeteksian logam berat adalah dengan menggunakan prinsip pengukuran sensor elektrokimia *voltammetry*, serta dilakukan dengan menggunakan konfigurasi tiga elektroda yaitu *reference electrode*, *working electrode*, dan *counter electrode*.

Berdasarkan kelebihan SPE untuk melakukan pendeteksian logam berat pada konsentrasi sampel yang kecil, maka dari itu pada studi kali ini dilakukan modifikasi pada *working electrode* (WE) dengan menggunakan material nanokomposit ZnO/PVA, hal ini dilakukan untuk dapat meningkatkan sensitivitas dari SPE dalam pendeteksian logam berat. Penggunaan nanokomposit ZnO/PVA sebagai material modifikasi karena PVA yang berperan sebagai polimer matriks memiliki sifat stabilitas kimia yang tinggi, memiliki sifat listrik dan mekanik yang baik, energi *band-gap* dari material ZnO yang lebar yaitu 3.7 eV, serta mobilitas elektron yang tinggi [4]. Oleh karena itu pada studi kali ini ingin diketahui kemampuan sensitivitas material modifikasi nanokomposit ZnO/PVA terhadap pendeteksian logam berat kadmium pada sampel cairan dengan menggunakan SPCE sebagai transduser pendeteksian logam berat.

II. KAJIAN TEORI

A. Zink Oksida

Material semikonduktor ZnO merupakan salah satu material yang dapat digunakan sebagai filler yang berpotensi

dalam pengaplikasiannya dalam optoelektronik. Hal ini dikarenakan ZnO memiliki energi band gap yang cukup besar yaitu 3.4 eV, memiliki panjang gelombang yang relative pendek, dan memiliki energi eksitasi sebesar 60 meV. Sehingga pemanfaatannya dalam nanokomposit dapat meningkatkan kemampuan dari polimer yang digunakan ketika diaplikasikan sebagai nanokomposit [5].

B. Nanokomposit

Material nanokomposit telah berhasil merevolusi dunia dengan membawa dampak yang besar dan penggunaan yang meluas diberbagai bidang seperti untuk pengaplikasian biologis dan pemantauan lingkungan. Dengan ukurannya yang mencapai skala nano, membuat nanokomposit menunjukkan sifat yang unik. Salah satu nanokomposit dengan penggunaan yang cukup luas karena sifat mekanik, optik, serta kestabilan kimia, yaitu PMNC (*polymer matrix nanocomposite*). Dalam pengaplikasiannya sebagai material modifikasi, digunakanlah PVA sebagai matriks dengan sifat semi kristalin, larut dalam air, dan tidak beracun, sehingga penggunaan PVA sering kali diaplikasikan pada OLED, sel surya, dan sensor [6]–[11].

III. METODE

A. Material

Material yang digunakan pada studi pembuatan SPCE terdiri atas *Zinc Oxide nanopowder* (ZnO, <100 nm ukuran partikel, Sigma Aldrich), *Poly-vinyl Alcohol* (PVA, 87-90% *hydrolyzed*, Sigma Aldrich), *Carbon/Graphite Ink* (Gwent Group), *Silver/Silver Chloride Paste* (Ag/AgCl 60:40, SunChemical), *Silver Ink* (C2010515D4, Gwent Electronic Materials), *White Dielectric Paste* (D2070209P6, Gwent Electronic Materials), *Sodium sulfat* (Na_2SO_4 , Sigma Aldrich), *Cadmium Nitrate Tetrahydrate 99%* (LOBA CHEMIE), dan PTFE A4 ketebalan 1 mm.

B. Sintesis Material Nanokomposit ZnO/PVA

Untuk membuat nanokomposit ZnO/PVA, siapkan 10 ml aquades untuk melarutkan 0.1 gram ZnO dan 1.5 gram PVA secara terpisah, aduk dengan kecepatan konstan menggunakan *hotplate* dan *magnetic stirrer* selama 30 menit pada suhu 80°C untuk masing-masing material. Setelah itu larutan ZnO dituangkan ke dalam larutan PVA dan diaduk kembali selama 30 menit pada suhu 80°C. kemudian larutan nanokomposit ZnO/PVA dilakukan ultrasonikasi selama 30 menit agar partikel terdispersi sempurna sehingga larutan menjadi *uniform*.

C. Karakterisasi I-V Nanokomposit ZnO/PVA

Karakterisasi I-V nanokomposit ZnO/PVA dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui sifat listrik dari nanokomposit ZnO/PVA serta untuk mengetahui konduktivitas yang dihasilkan. Karakterisasi dilakukan di atas PCB dengan desain *interdigitated circuit*, sebelum digunakan PCB disolder terlebih dahulu dengan pin dan dilakukan sterilisasi dengan menggunakan ultrasonikasi selama 15 menit menggunakan alkohol 96% dan 15 menit dengan menggunakan aquades. Selanjutnya larutan nanokomposit ZnO/PVA dideposisi diatas PCB dengan metode *solution casting* dan ditipiskan, setelah itu dilakukan

softbake pada suhu 45°C selama kurang lebih 3 menit. Kemudian sampel yang sudah jadi akan diukur hambatannya dengan menggunakan voltmeter untuk dilihat orde hambatan yang dihasilkan, dalam hal ini pengecekan dilakukan dikarenakan karakterisasi I-V dilakukan dengan menggunakan Keithley 2400 dengan maksimal pengukuran 1A. setelah pengecekan dengan voltmeter telah selesai sampel segera disimpan didalam cawan petri yang dibuat kedap udara dan disimpan di dalam *dry box* untuk menghindari oksidasi pada sampel.

Pengukuran menggunakan Keithley 2400 dilakukan dengan menghubungkan sampel yang sudah siap menggunakan capit buaya, kemudian sampel akan ditutupi dengan menggunakan sangkar faraday untuk menghindari paparan gelombang elektromagnetik sekitar yang dapat mempengaruhi sampel. Selanjutnya pemberian tegangan *swipe* dilakukan dengan diberikan tegangan mulai dari -5 V hingga 5V, setelah *running* selesai maka kurva respon I-V akan ditampilkan pada perangkat pengguna, dan pada pengujian kali ini didapatkan kurva yang tidak terlalu linear tapi hampir memiliki tren semikonduktor dengan orde arus μA .

D. Karakterisasi *Cyclic Voltammetry* Nanokomposit ZnO/PVA

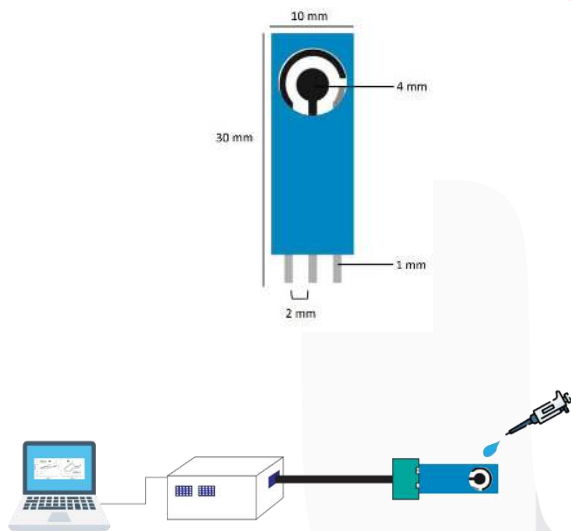
Pengujian dengan menggunakan *cyclic voltammetry* (CV) bertujuan untuk mempelajari respon elektrokimia dari sampel uji dengan memunculkan respon berupa reaksi oksidasi dan reduksi. Pada pengujian CV untuk material nanokomposit ZnO/PVA dilakukan dengan menggunakan media *glassy carbon electrode* (GCE) dengan konfigurasi tiga elektroda yaitu *reference electrode* (RE), *working electrode* (WE), *counter electrode* (CE) yang terhubung dengan potensiostat (Rodeostat : Open Source Potensiostat) sebagai pemberi daya eksternal untuk dapat terjadi reaksi pada permukaan elektroda. Elektrolit yang digunakan sebagai media transfer elektron adalah natrium sulfat (Na_2SO_4). Proses CV dilakukan dengan melalui tahap deposisi sampel diatas *stainless steel* sebagai logam inert yang akan diletakan pada WE agar tidak ada reaksi *background*. Kemudian konfigurasi elektroda yang sudah selesai akan dicelupkan pada larutan 1.0 M Na_2SO_4 dalam 200 ml air. Konfigurasi CV dilakukan dengan mengatur tegangan *swipe* dari -1 V hingga 1 V dan *scan rate* 100 mV/s, setelah proses CV selesai maka akan ditampilkan grafik hubungan arus listrik dengan tegangan, untuk dapat dianalisis kapasitansi spesifik yang dihasilkan.

E. Fabrikasi dan Karakterisasi *Screen-Printed Carbon Electrode*

Fabrikasi SPCE dilakukan dengan pembuatan *screen* sebagai tempat pola dari desain SPCE yang diinginkan, dengan susunan per lapisan dimulai dari kaki elektroda, RE, CE dan WE, lapisan enkapsulasi seperti pada Gambar 1(a), ukuran SPCE yang akan difabrikasi adalah 10 x 30 mm dengan diameter WE 4 mm. jenis dari SPCE yang difabrikasi adalah tipe *micro disc* hal ini merujuk kepada bentuk dari elektroda yang dibuat, pemilihan tipe SPCE pada studi ini didasari oleh kelebihan dari *micro disc type* yaitu menggunakan volume sampel yang cenderung lebih sedikit serta memfasilitasi transportasi massa yang lebih besar, dengan menggunakan *micro disc type* akan terbentuk lapisan

difusi dengan bentuk *hemispherical* pada sekitar elektroda sehingga memungkinkan perpindahan spesies elektroaktif dengan lebih cepat dan meningkatkan respon elektrokimia [12], [13]. Fabrikasi SPCE dilakukan dengan menggunakan mesin printing de Haart model SP5A 10, dengan pencetakan dilakukan sekaligus untuk 10 SPCE selama 2 jam pengerjaan, dengan formasi tinta untuk masing-masing elektroda yaitu pasta silver untuk kaki elektroda, Ag/AgCl untuk RE, pasta karbon untuk CE dan WE, sedangkan pasta dielektrik untuk lapisan enkapsulasi.

Setelah SPCE berhasil difabrikasi akan dilakukan karakterisasi untuk memastikan SPCE sudah layak pakai atau tidak, dalam hal ini karakterisasi dilakukan dengan menggunakan larutan 0.1M KCL dan 5mM K₃[Fe(CN)₆] sebagai analit standar dalam pengujian redoks konvensional [14] dengan target pengujian menghasilkan “*duck-shaped voltammogram*” yang mengindikasikan terdapat transfer elektron yang terjadi pada SPCE [15]. Prosedur dilakukan dengan meneteskan 60 µl analit pada permukaan elektroda, kemudian SPCE dihubungkan dengan adaptor tipe B ke portensiostat yang terhubung ke laptop pengguna Gambar 1(b).



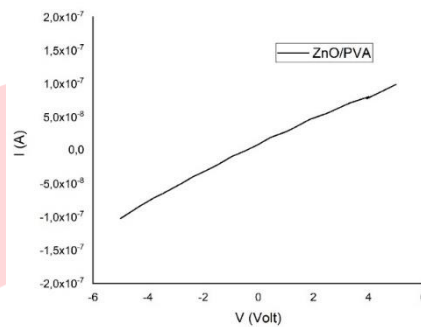
GAMBAR 1.
Detail SPCE (a), Skema Karakterisasi SPCE (b)

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Karakterisasi I-V Nanokomposit ZnO/PVA

Hasil dari karakterisasi I-V didapatkan data berupa grafik respon arus listrik dari material uji dalam hal ini adalah nanokomposit ZnO/PVA terhadap pemberian tegangan *swipe* dari -5V hingga 5V. Berdasarkan grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 2, didapatkan tren orde dari material nanokomposit ZnO/PVA secara konsisten berada pada orde mikro ampere (µA). Hal ini mengindikasikan bahwa material yang digunakan pada studi ini merupakan jenis material semikonduktor dimana arus yang dihasilkan serta konduktivitas yang dihasilkan akan lebih kecil jika dibandingkan dengan material konduktor, hal ini dikarenakan pada material konduktor semakin banyak jumlah elektron bebas akan meningkatkan konduktivitas, sedangkan pada semikonduktor peningkatan suhu yang berperan dalam meningkatkan konduktivitas material [16], dalam hal ini jika

materia berada dalam suhu netral atau temperature ruangan maka konduktivitas semikonduktor akan jauh lebih kecil ketimbang material konduktor. Kemudian jika dilihat dari bentuk kurva tampak diujung kurva terdapat tren non-ohmic, dimana kelengkungannya menunjukkan kurva semikonduktor. Selain itu dari hasil grafik yang didapatkan maka dapat diketahui nilai konduktivitas dari nanokomposit ZnO/PVA dengan menggunakan hubungan gradien dari grafik yang dihasilkan, dimana nilai yang didapatkan untuk konduktivitasnya adalah $1,98 \times 10^{-8}$ S dan Resistansi sebesar 5.05×10^7 ohm.

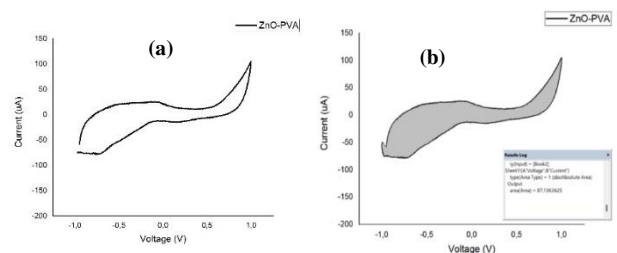


GAMBAR 2.
Grafik Respon I-V Nanokomposit ZnO/PVA

B. Hasil Karakterisasi *Cyclic Voltammetry* Nanokomposit ZnO/PVA

Pengujian CV dilakukan untuk mempelajari respon elektrokimia dari nanokomposit ZnO/PVA. Kehadiran puncak oksidasi dan reduksi pada pengujian dengan menggunakan natrium sulfat, hal ini dikarenakan nanokomposit memiliki kestabilan elektrokimia yang baik dan mengindikasikan bahwa terjadi transfer elektron pada permukaan elektroda. Parameter yang berperan penting pada proses pengujian CV yaitu *scan rate* yang digunakan, karena hal ini berkaitan dengan penurunan ukuran lapisan difusi dan sebagai dampaknya adalah peningkatan arus listrik yang dihasilkan [15]. Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat bahwa nanokomposit ZnO/PVA memunculkan puncak oksidasi dengan besar arus 24,23 µA. selanjutnya dari hasil pengujian CV juga didapatkan spesifik kapasitansi dari material yang digunakan dan untuk nanokomposit ZnO/PVA didapatkan spesifik kapasitansi sebesar 1.7×10^{-3} F/g dengan luas permukaan kurva sebesar $8,7 \times 10^{-5}$ AV, perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan (1) [17].

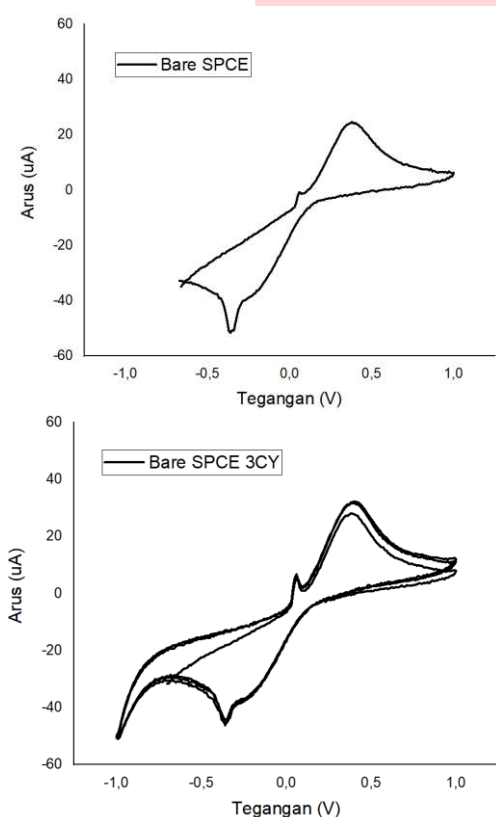
$$C_p = \frac{A}{2mk(V_2 - V_1)} \quad (1)$$



GAMBAR 3.
Hasil Pengujian CV Nanokomposit ZnO/PVA

C. Pengujian SPCE Modifikasi Nanokomposit ZnO/PVA Terhadap Kadmium

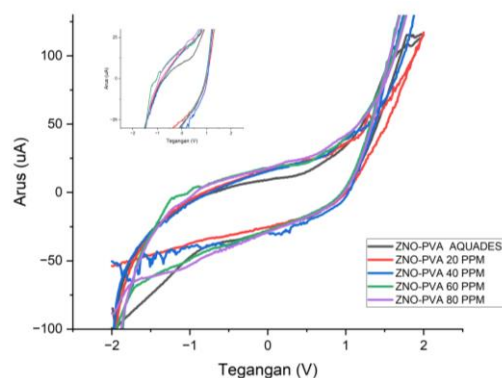
Pengujian SPCE dilakukan dengan melakukan karakterisasi terlebih dahulu dengan menggunakan larutan 0.1M KCL dan 5mM $K_3[Fe(CN)_6]$ dalam hal ini untuk melihat respon elektrokimia dari SPCE sehingga dikatakan dapat digunakan apabila terdapat kemunculan puncak redoks dalam bentuk grafik berupa “*duck-shaped voltammogram*” larutan yang digunakan dalam karakterisasi SPCE berperan sebagai analit, sehingga dengan adanya puncak redoks artinya SPCE yang digunakan dapat mendeteksi keberadaan analit. Dari hasil karakterisasi didapatkan hasil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4, dapat dilihat jika siklus diulang sebanyak tiga kali dapat terlihat bahwa terdapat kestabilan respon dari SPCE.



GAMBAR 4.
Karakterisasi SPCE

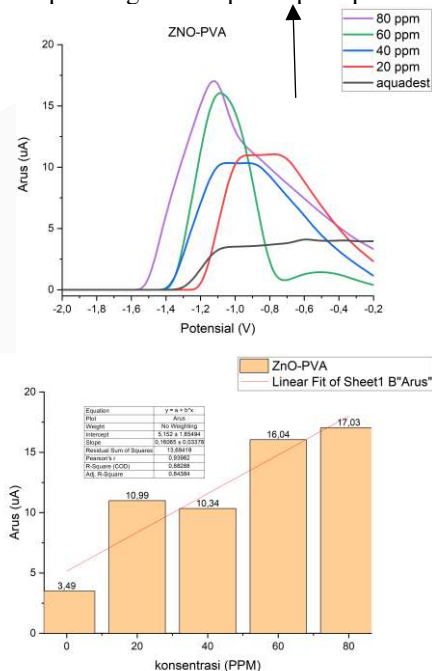
Selanjutnya adalah melakukan modifikasi terhadap SPCE menggunakan nanokomposit ZnO/PVA dengan menggunakan *drop-casting* sebanyak 2.5 μ l pada WE, hal ini dilakukan untuk meningkatkan sensitivitas dalam pendeteksian kadmium pada sampel cairan. Setelah selesai dimodifikasi SPCE akan diuji menggunakan kadmium dengan variasi konsentrasi 0, 20, 40, 60, dan 80 ppm. Pertama pengujian dilakukan dengan menggunakan CV untuk melihat respon oksidasi dan reduksi dari material terhadap kadmium dengan menggunakan parameter tegangan *swipe* sebesar -2V hingga 2V dan *scan rate* 100 mV/s. Didapatkan respon seperti pada Gambar 5, tetapi tidak terlihat keberadaan puncak oksidasi maupun reduksi, hal ini dapat terjadi karena proses penyerapan logam berat pada permukaan elektroda yang dikarenakan oleh logam berat yang terhidrolisis dalam kondisi basa, selain itu juga waktu deposisi logam berat pada

permukaan elektroda juga dapat mempengaruhi jumlah logam yang terakumulasi [18].



GAMBAR 5.
Hasil Pengujian Nanokomposit ZnO/PVA Terhadap Kadmium Menggunakan CV

Dikarenakan ketidakhadiran puncak redoks pada CV sehingga dibutuhkan pengujian lebih lanjut untuk mempelajari pendeteksian kadmium, sehingga digunakan metode pengukuran menggunakan *square wave voltammetry* (SWV) dan didapatkan grafik respon seperti pada Gambar 6.



GAMBAR 6.
Puncak Respon Pendeteksian SWV dan Fitting Linearitas Respon Keluaran

Berdasarkan grafik pada Gambar 6 hasil pengujian nanokomposit ZnO/PVA terhadap kadmium pada variasi konsentrasi yang berbeda memiliki pola rentang tegangan pada -1.2V hingga -0.8V dengan respon yang terus meningkat seiring bertambahnya konsentrasi kadmium. Hasil dari pengukuran didapatkan koefisien determinasi sebesar 88% sehingga dapat diindikasikan bahwa material nanokomposit ZnO/PVA memiliki kemampuan yang cukup baik dalam melakukan pendeteksian kadmium, selain itu diperoleh juga sensitivitas dari pendeteksian yaitu sebesar 1.7

$\times 10^{-4}$ A/ppm. Serta didapatkan juga *limit of detection* (LoD) sebesar 0.112 ppm dengan menggunakan persamaan (2) [19].

$$LoD = 3.3 \left(\frac{\sigma}{slope} \right) \quad (2)$$

V. KESIMPULAN

Lapisan tipis nanokomposit ZnO/PVA telah berhasil disintesis menggunakan metode *solution-casting*. Hasil dari karakterisasi I-V menunjukkan bahwa nanokomposit ZnO/PVA memiliki konduktivitas sebesar $1,98 \times 10^{-8}$ S dengan hal ini mengindikasikan bahwa material yang digunakan merupakan material semikonduktor. Selanjutnya karakterisasi CV terhadap material nanokomposit ZnO/PVA telah dilakukan dan didapatkan spesifik kapasitansi sebesar 1.7×10^{-3} F/g. Kemudian SPCE dengan modifikasi nanokomposit ZnO/PVA juga telah berhasil difabrikasi menggunakan metode *drop-casting* dan telah dilakukan pengujian terhadap variasi konsentrasi kadmium mulai dari 0-80 ppm menggunakan metode SWV, berdasarkan pengujian didapatkan koefisien determinasi sebesar 88%, sensitivitas 1.7×10^{-4} A/ppm pada pengukuran linear 0-80 ppm, dan LOD sebesar 0.112 ppm. Sehingga berdasarkan studi eksperimen yang dilakukan nanokomposit ZnO/PVA merupakan material yang baik dan berpotensi untuk dilakukan pengembangan sebagai material modifikasi SPCE dalam pendeteksian logam berat.

REFERENSI

- [1] V. Dhiman and N. Kondal, "ZnO Nanoadsorbents: A potent material for removal of heavy metal ions from wastewater," *Colloids and Interface Science Communications*, vol. 41. Elsevier B.V., Mar. 01, 2021. doi: 10.1016/j.colcom.2021.100380.
- [2] A. I. A. Sherlala, A. A. A. Raman, M. M. Bello, and A. Asghar, "A review of the applications of organo-functionalized magnetic graphene oxide nanocomposites for heavy metal adsorption," *Chemosphere*, vol. 193. Elsevier Ltd, pp. 1004–1017, Feb. 01, 2018. doi: 10.1016/j.chemosphere.2017.11.093.
- [3] J. Barton *et al.*, "Screen-printed electrodes for environmental monitoring of heavy metal ions: a review," *Microchimica Acta*, vol. 183, no. 2. Springer-Verlag Wien, pp. 503–517, Feb. 01, 2016. doi: 10.1007/s00604-015-1651-0.
- [4] S. A. Khan *et al.*, "Performance investigation of ZnO/PVA nanocomposite film for organic solar cell," in *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, 2021, pp. 2615–2621. doi: 10.1016/j.matpr.2021.05.197.
- [5] D. N. Papadimitriou, "Engineering of Optical and Electrical Properties of Electrodeposited Highly Doped Al:ZnO and In:ZnO for Cost-Effective Photovoltaic Device Technology," *Micromachines (Basel)*, vol. 13, no. 11, p. 1966, Nov. 2022, doi: 10.3390/mi13111966.
- [6] R. P. Singh, P. Singh, and K. R. B. Singh, "Introduction to Composite Materials," in *Composite Materials*, CRC Press, 2020, pp. 1–28. doi: 10.1201/9781003080633-1.
- [7] S. H. Din, "Nano-Composites and their Applications: A review," *Characterization and Application of Nanomaterials*, vol. 2, no. 1, Feb. 2019, doi: 10.24294/can.v2i1.875.
- [8] S. K. R. and S. K. Krishna R, "A review on types of nanocomposites and their applications," 2018. [Online]. Available: www.IJARIIT.com
- [9] R. Kandulna and R. B. Choudhary, "Concentration-dependent behaviors of ZnO-reinforced PVA–ZnO nanocomposites as electron transport materials for OLED application," *Polymer Bulletin*, vol. 75, no. 7, pp. 3089–3107, Jul. 2018, doi: 10.1007/s00289-017-2186-9.
- [10] M. Aslam, M. A. Kalyar, and Z. A. Raza, "Polyvinyl alcohol: A review of research status and use of polyvinyl alcohol based nanocomposites," *Polymer Engineering and Science*, vol. 58, no. 12. John Wiley and Sons Inc., pp. 2119–2132, Dec. 01, 2018. doi: 10.1002/pen.24855.
- [11] A. F. Mansour, S. F. Mansour, and M. A. Abdo, "Improvement Structural and Optical Properties of ZnO/ PVA Nanocomposites," *IOSR Journal of Applied Physics (IOSR-JAP)*, vol. 7, no. 2, pp. 60–69, doi: 10.9790/4861-07226069.
- [12] R. R. Suresh *et al.*, "Fabrication of screen-printed electrodes: opportunities and challenges," *Journal of Materials Science*, vol. 56, no. 15. Springer, pp. 8951–9006, May 01, 2021. doi: 10.1007/s10853-020-05499-1.
- [13] P. Faradilla, H. Setiyanto, R. V. Manurung, and V. Saraswaty, "Electrochemical sensor based on screen printed carbon electrode-zinc oxide nano particles/molecularly imprinted-polymer (SPCE-ZnONPs/MIP) for detection of sodium dodecyl sulfate (SDS)," *RSC Adv*, vol. 12, no. 2, pp. 743–752, Dec. 2021, doi: 10.1039/d1ra06862h.
- [14] E. Ariasena, I. A. Putra Noerizky, R. R. Althof, and I. Anshori, "Screen-Printed Carbon Electrode Fabrication Method for Electrochemical Biosensor Application," in *Proceedings of the 4th International Conference on Life Sciences and Biotechnology (ICOLIB 2021)*, Atlantis Press International BV, 2023, pp. 341–353. doi: 10.2991/978-94-6463-062-6_34.
- [15] N. Elgrishi, K. J. Rountree, B. D. McCarthy, E. S. Rountree, T. T. Eisenhart, and J. L. Dempsey, "A Practical Beginner's Guide to Cyclic Voltammetry," *J Chem Educ*, vol. 95, no. 2, pp. 197–206, Feb. 2018, doi: 10.1021/acs.jchemed.7b00361.
- [16] M. Thirumalai, "Electron theory on conductor, insulator and semiconductor Modeling And Location Of Faults In Power Transormer Using Transfer Function And Frequency Response Analysis View project Electricity Bill Reduction for Crane Industries View project Electron theory on conductor, insulator and semiconductor 1." [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/362365182>

- [17] A. Prakash and D. Bahadur, "The role of ionic electrolytes on capacitive performance of ZnO-reduced graphene oxide nanohybrids with thermally tunable morphologies," *ACS Appl Mater Interfaces*, vol. 6, no. 3, pp. 1394–1405, Feb. 2014, doi: 10.1021/am405031y.
- [18] Z. Li *et al.*, "An electrochemical sensor based on a MOF/ZnO composite for the highly sensitive detection of Cu(II) in river water samples," *RSC Adv*, vol. 12, no. 9, pp. 5062–5071, Jan. 2022, doi: 10.1039/d1ra08376g.
- [19] G. Padmalaya *et al.*, "A Facile Synthesis of Cellulose Acetate Functionalized Zinc Oxide Nanocomposite for Electrochemical Sensing of Cadmium ions," *J Inorg Organomet Polym Mater*, vol. 29, no. 3, pp. 989–999, May 2019, doi: 10.1007/s10904-018-0989-2.

