

Submitted : 8 Februari 2019

Revised : 28 Februari 2019

Accepted : 4 April 2019

SENSOR ELEKTROKIMIA MENGGUNAKAN NANOKOMPOSIT ZnO/CARBON NANOTUBES PADA MIKROFLUIDA KERTAS

Roekmono^{1*}, Harsono Hadi¹, Luthviah C. Muhimmah¹, Rio Akbar Yuwono¹, Ruri Agung Wahyuno^{1*}

¹Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jln. Arif Rahman Hakim, Kampus Keputih Sukolilo, 60111 Surabaya

*Email: tfroekmono@yahoo.co.id; ruri.tf014@gmail.com

Abstrak

Sensor senyawa bio yang sederhana, murah dan andal merupakan salah satu objek pengembangan teknologi sensor untuk diagnosis klinik. Dalam aplikasi *lab on paper*, sensor senyawa bio berbasis kertas merupakan tantangan penelitian tersendiri karena membutuhkan desain elektroda yang mampu memisahkan plasma darah sekaligus berfungsi untuk melakukan *sensing* terhadap target senyawa yang akan diukur. Pada penelitian ini, elektroda sensor senyawa bio diintegrasikan pada mikrofluida berbasis kertas untuk mendeteksi kandungan glukosa dan asam askorbat dalam *simulated body fluid* secara simultan dengan menggunakan metode elektrokimia (*cyclic voltammetry*, CV). Adapun elektroda kerja aktif terbuat dari kertas filter yang dilapisi karbon konduktif dan komposit ZnO/*multi-walled carbon nanotubes* (MWCNTs) dengan variasi fraksi massa MWCNTs 0,1, 2, dan 8% untuk pengukuran asam askorbat dan glukosa dalam *simulated body fluid* dengan konsentrasi 0,02–5,12 mM. Hasil terbaik didapatkan dengan penggunaan fraksi massa MWCNTs 2%, karakteristik linier ($R^2 > 0,8$) dari nilai respon arus menunjukkan sensitivitas (gradien) untuk pengukuran asam askorbat sebesar $0,02 \mu\text{A}/\text{mM}\cdot\text{cm}^2$ dan sensitivitas pengukuran glukosa sebesar $0,08 \mu\text{A}/\text{mM}\cdot\text{cm}^2$, dengan integral respon arus sebesar 10–35 % dari total arus CV yang terekam.

Kata Kunci: Asam Askorbat, *Cyclic Voltammetry*, Glukosa, *Multi-Walled Carbon Nanotubes*, ZnO

Abstract

A simple, affordable and reliable biosensor is one of the future goal of sensor technology development for clinical diagnosis. In the lab on paper application, the paper-based biosensor is one of the biggest challenge since it requires an electrode design that is capable of not only separating blood plasma but also sensing the target compound to be measured. In this study, biosensor electrodes were integrated into paper-based microfluidics to simultaneously detect glucose and ascorbic acid in a simulated body fluid using electrochemical (cyclic voltammetry, CV) methods. The active working electrodes were fabricated from the carbon-coated filter paper and a composite of ZnO/multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) with variations in mass fractions of 0.1, 2 and 8% MWCNTs for measuring ascorbic acid and glucose with concentrations of 0.02 - 5.12 mM. The best results were obtained by 2% of MWCNTs in composite electrode, in which linear characteristics ($R^2 > 0.8$) of the current response value show a sensitivity (gradient) of 0.02 and 0.08 $\mu\text{A}/\text{mM}\cdot\text{cm}^2$ for ascorbic acid and glucose measurement, respectively, with the integral current response of 10-35% to the total collected current in CV.

Keywords: Ascorbic Acid, *Cyclic Voltammetry*, Glucose, *Multi-Walled Carbon Nanotubes*, ZnO

1. PENDAHULUAN

Perangkat diagnosis klinis konvensional adalah salah satu penghambat sistem kesehatan di masa depan, karena harga yang relatif mahal, memerlukan waktu yang cukup lama untuk diagnosis, dan

memerlukan keahlian khusus dalam pengoperasian (Akyazi, Basabe-Desmonts, & Benito-Lopez, 2017; Martinez dkk, 2010). Pengembangan perangkat diagnosis yang murah dan portabel berikut dengan metode pemisahan plasma darah dianggap dapat

menggantikan perangkat diagnosis klinis konvensional (Akyazi dkk, 2017; Songjaroen, Dungchai, Chailapakul, Henry, & Laiwattanapaisal, 2012). World Health Organization (WHO) telah memberikan beberapa kriteria ASSURED untuk alat diagnosis klinis portabel, yaitu: *Affordable, Sensitive, Specific, User-friendly, Rapid and robust, Equipment free, Deliverable to end users* (Wu & Zaman, 2012). Peranti mikrofluida berbasis kertas (*microfluidic paper-based analytical devices, μPADs*) dianggap telah memenuhi kriteria ASSURED sekaligus peranti pemisah plasma darah (Dungchai, Chailapakul, & Henry, 2009; Hu et al., 2014; Xu Li, Ballerini, & Shen, 2012).

Selain sekali pakai dan mudah terdekomposisi, efek kapilaritas pada kertas menjadi pertimbangan dalam penggunaan kertas sebagai peranti mikrofluida, sehingga tidak diperlukan gaya dari luar untuk mengalirkan fluida (Jagadeesan, Kumar, & Sumana, 2012; Yetisen, Akram, & Lowe, 2013). Metode deteksi menggunakan μPADs untuk diagnosis klinis terbagi menjadi lima, yaitu kolorimetri, fluorosensi, elektrokimia kemiluminesen, dan elektrokemiluminesen. Dari berbagai metode yang telah dikembangkan, metode deteksi elektrokimia adalah metode deteksi yang sering digunakan (Gabriel dkk., 2016; Santhiago, Henry, & Kubota, 2014; Wahyuono dkk, 2017; Yuwono dkk., 2016).

Li dkk. (2015) menggunakan metode deteksi elektrokimia berupa *cyclic voltammetry* (CV) pada μPADs untuk mendeteksi kadar glukosa (Xiao Li, Zhao, & Liu, 2015). Yuwono dkk (2016) menggunakan metode deteksi elektrokimia berupa *impedance spectroscopy* pada μPADs untuk mendeteksi kadar glukosa. Kedua penelitian ini berhasil mendeteksi kadar glukosa dengan mengintegrasikan μPADs dengan nanopartikel ZnO sehingga menghasilkan sensitivitas deteksi berbasis elektrokimia yang tinggi (Li dkk., 2015; Yuwono dkk., 2016). Namun, peranti mikrofluida yang digunakan oleh Li dkk. (2016), tidak menggunakan darah sebagai fluida utama, sedangkan peranti mikrofluida yang digunakan oleh Yuwono dkk. (2016), tidak menggunakan kandungan 100% darah, sehingga penelitian yang dilakukan belum bisa menunjukkan pemisahan plasma darah dengan sempurna. Muhimmah dkk. (2018) memperbaiki desain yang dikembangkan Yuwono dkk (2016) dengan menggunakan dua lapis kertas yang terdekorasi ZnO *nanoflowers* dan ZnO *spherical aggregates* sehingga mampu memisahkan plasma dari sampel darah serta mampu digunakan untuk mendeteksi glukosa secara spektroskopis.

Pada penelitian ini, desain mikrofluida kertas yang telah diperbaiki di atas (Roekmono dkk., 2017; Roekmono dkk., 2018) akan dikembangkan lebih lanjut untuk dijadikan biosensor secara elektrokimia. Untuk itu, permukaan nanopartikel ZnO akan dikompositkan dengan *multi-walled carbon nanotubes* (MWCNTs) dengan tujuan untuk meningkatkan sensitivitas deteksi elektrokimia karena konduktivitas MWCNTs yang tergolong tinggi. Adapun pada penelitian ini, biosensor berbasis kertas mikrofluida ini akan diuji untuk mendeteksi kandungan asam askorbat dan glukosa

dalam *simulated body fluid*. Dengan demikian, mikrofluida kertas yang dikembangkan tidak hanya mampu memisahkan plasma darah tetapi dapat juga digunakan untuk deteksi senyawa bio target menggunakan metode elektrokimia.

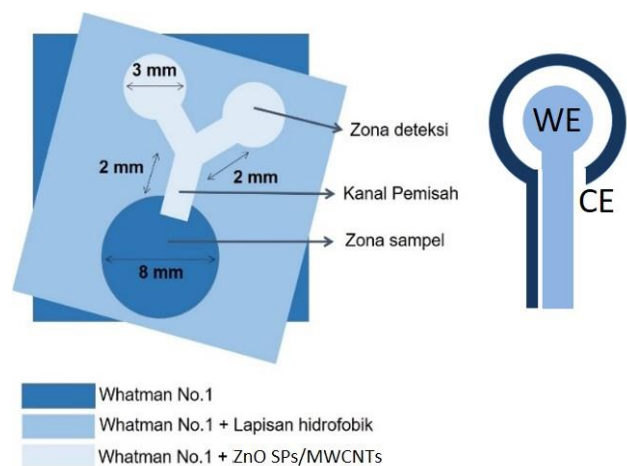
2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Preparasi dan Karakterisasi Komposit Partikel Nano ZnO/MWCNTs

Partikel nano ZnO disintesis dengan metode kimia basah yaitu dengan melarutkan $Zn(CH_3COOH)_2 \cdot 2H_2O$ ke dalam pelarut *diethylene glycol* (Wahyuono dkk, 2014; Wahyuono dkk, 2016). Larutan $Zn(CH_3COOH)_2$ dengan konsentrasi 0,1 M kemudian diaduk dan dipanaskan pada temperatur 200°C selama 2 jam hingga berwarna putih susu. Partikel nano ZnO diperoleh dengan sentrifugasi untuk memisahkan ZnO dengan pelarut dan sisa hasil reaksi. Untuk membentuk komposit ZnO/MWCNTs melalui ikatan kovalen, MWCNTs (Cheaptubes Inc) dioksidasi dengan asam nitrat dalam keadaan refluks pada temperatur 130°C selama 10 jam. Kemudian, larutan MWCNTs diencerkan dengan air dan difilter. MWCNTs yang terfungsionalisasi gugus COOH diperoleh setelah beberapa kali pencucian dengan air dan dikeringkan pada temperatur 75°C selama 12 jam.

2.2 Karakterisasi Partikel Nano ZnO

Morfologi mikro ZnO dianalisis dari pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) FEI Inspect-S50 yang dioperasikan pada tegangan percepatan 20,0 kV. Karakteristik pori dan luas permukaan aktif dari ZnO telah diuji menggunakan metode Brunauer, Emmett, Teller (BET) di dalam atmosfer nitrogen pada temperatur 77 K sebagaimana dilaporkan oleh Wahyuono dkk (2017).



Gambar 1. Desain dan geometri elektroda ZnO/MWCNTs (WE) pada mikrofluida kertas desain Muhimmah dkk (2018). Pada sekeliling zona deteksi dan kanal pemisah dicetak sirkuit karbon

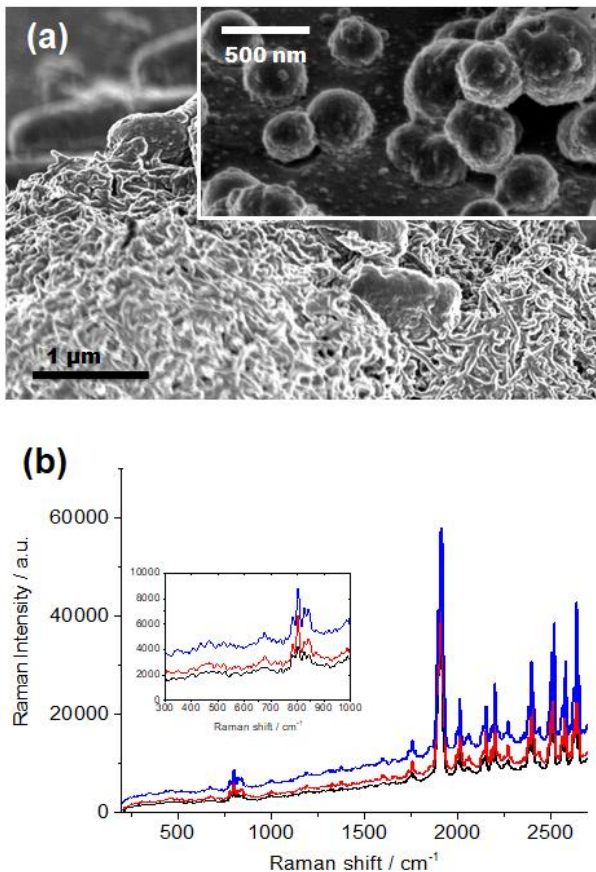
2.3 Fabrikasi Sensor pada Mikrofluida Kertas

Mikrofluida berbasis kertas yang terdekorasi partikel nano ZnO didesain seperti pada Gambar 1. Adapun ukuran kanal mikrofluida diadopsi dari geometri yang didesain oleh Muhimmah dkk (2018).

Kanal pemisah hingga zona deteksi dilapisi dengan komposit ZnO/MWCNTs dan menjadi elektroda kerja sensor elektrokimia. Elektroda pembanding menggunakan pasta karbon konduktif (Solaronix) yang dicetak dengan menggunakan *mask* pada area sekeliling kanal pemisah dan zona deteksi membentuk sirkuit karbon.

2.4 Pengujian kadar glukosa dan asam askorbat

Simulated body fluid (SBF) digunakan sebagai pelarut glukosa dan asam askorbat untuk menggantikan cairan tubuh, seperti serum darah. Preparasi SBF menggunakan komponen sebagai berikut: KCl, $K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$, $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, $CaCl_2$, dan Na_2SO_4 . Prosedur secara detil preparasi SBF telah dideskripsikan oleh Kokubo dan Takadama (2006). Adapun konsentrasi glukosa dan asam askorbat yang digunakan adalah 0,02, 0,04, 0,08, 0,16, 0,32, 0,64, 1,28, 2,56, dan 5,12 mM. Elektroda pembanding yang digunakan adalah elektroda karbon, dan internal referensi terhadap potensial oksidasi adalah Ag/AgCl. Respon arus-tegangan dengan metode *cyclic voltammetry* diukur menggunakan Versastat II potentiostat/galvanostat.



Gambar 2. Mikromorfologi (a) nanokomposit ZnO/MWCNTs. *Inset* pada gambar (a) menunjukkan morfologi ZnO berbentuk agregat bola. (b) Spektrum Raman nanokomposit ZnO/MWCNTs yang dipindai di atas substrat kertas. Spektrum warna hitam, merah dan biru berturut-turut menunjukkan variasi fraksi massa MWCNTs 0,1, 2, dan 8%

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Permukaan Elektroda ZnO/MWCNTs

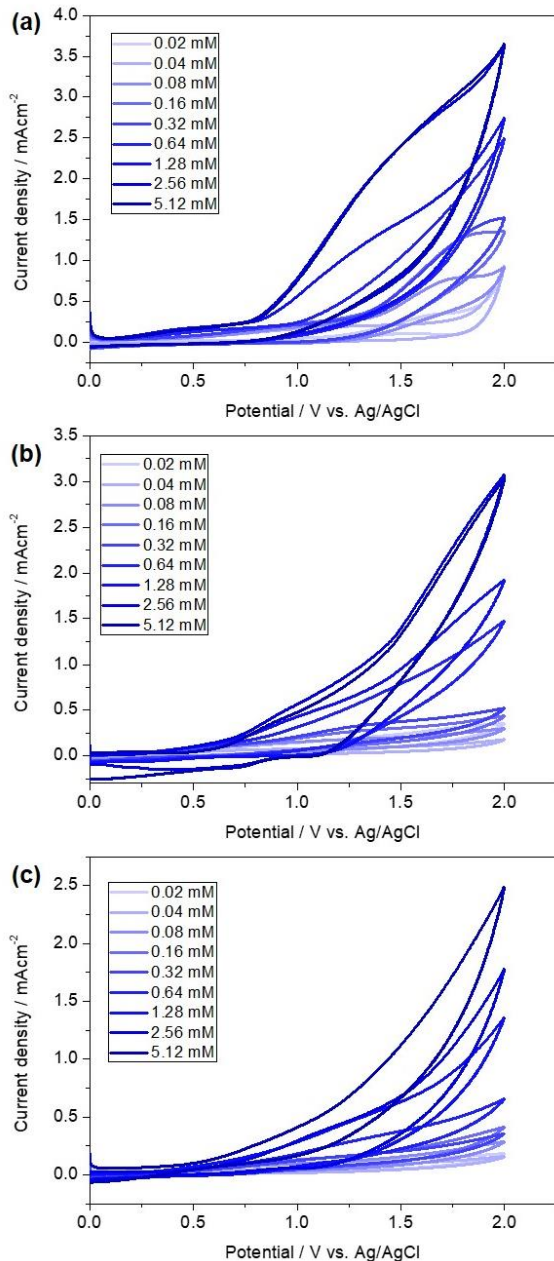
Morfologi permukaan elektroda kertas yang telah dilapisi komposit nano ZnO/MWCNTs dipindai dengan *scanning electron microscope* (SEM). Pada Gambar 2a. terlihat bahwa ZnO terdecorasi dengan MWCNTs dan teraglomerasi dikarenakan ukuran MWCNTs yang sangat panjang (2–3 μm) melebihi ukuran partikel nano ZnO. Morfologi partikel nano ZnO sendiri (lihat Gambar 2a, *inset*) berbentuk agregat bola dengan ukuran yang bervariasi dari 200 hingga 600 nm. Namun demikian, sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya (Syukron dkk, 2014; Wahyuono dkk, 2014), agregat bola ini tersusun atas kristal primer berukuran 15–20 nm dan memiliki luas permukaan aktif antara 30–100 m^2/g . Hasil pembentukan komposit secara kualitatif dari gambar SEM secara umum dapat dikatakan bahwa ikatan kovalen COOH pada MWCNTs ke permukaan ZnO tidak homogen. Hal ini sangat wajar untuk preparasi komposit nano dengan metode sintesis kimia basah.

Pada Gambar 2b spektrum Raman dari nanokomposit ZnO/MWCNTs ditunjukkan untuk konsentrasi MWCNTs yang berbeda-beda (0,1, 2, dan 8% wt). Identifikasi partikel nano ZnO dapat dilihat pada bilangan gelombang (Raman shift) di bawah 800 cm^{-1} . Puncak Raman pada bilangan gelombang 450 cm^{-1} merupakan penciri moda Raman order dua tipikal untuk partikel nano ZnO dengan struktur kristal Wurtzite heksagonal (Pandey dkk., 2017). Puncak raman pada 500 dan 700 cm^{-1} menunjukkan penciri spektral dari moda fonon optis permukaan ZnO. Identifikasi adanya MWCNTs pada elektroda dapat diamati pada spektrum Raman pada bilangan gelombang 1315 dan 1585 cm^{-1} (Dobrzanska-Danikiewicz dkk., 2013). Puncak hamburan Raman pada 1315 cm^{-1} merupakan penciri spektral pita D (*disorder*) yang berasal dari karbon amorf serta cacat struktur atom karbon. Adapun, puncak-puncak pada bilangan gelombang 1585 cm^{-1} (pita G, graphite) yang berasosiasi dengan moda geser (*shear*) atom-atom karbon. Adapun puncak Raman pada 2650 cm^{-1} merupakan overtone dari pita D. Puncak-puncak hamburan Raman lainnya yang terdeteksi dapat diatribusikan sebagai efek hamburan Raman dari substrat kertas. Secara umum, penambahan fraksi massa MWCNTs tidak mempengaruhi karakter elektronik masing-masing partikel nano ZnO dan MWCNTs karena tidak ada pergeseran puncak hamburan Raman. Cacat struktur atom karbon pada MWCNTs juga tidak berubah dikarenakan rasio intensitas puncak Raman pita G terhadap pita D tidak berubah.

3.1 Karakteristik Permukaan Elektroda ZnO/MWCNTs

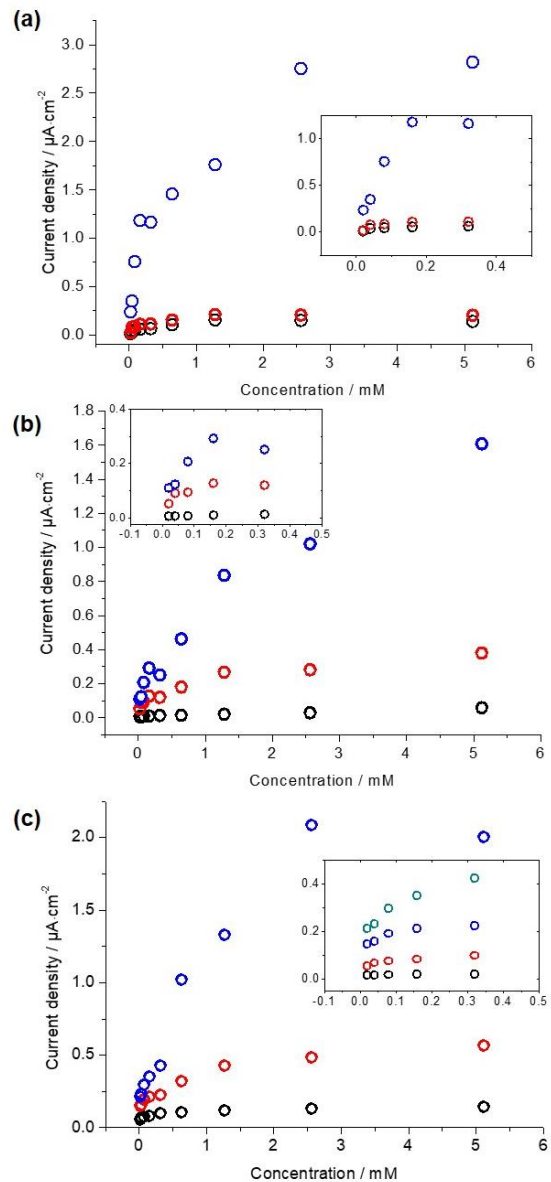
Hasil uji *cyclic voltammetry* (CV) pada *simulated body fluid* yang mengandung berbagai konsentrasi glukosa dan asam askorbat ditunjukkan pada Gambar 3. Dapat dilihat bahwa penggunaan fraksi massa 0,1% MWCNTs pada nanokomposit memiliki respon rapat

arus elektrokimia yang lebih besar dibandingkan fraksi massa yang lebih besar di dalam rentang tegangan 0–2 V (vs. Fc^+/Fc). Beberapa puncak kurva pada tegangan $\pm 0,2$ V, $\pm 0,5$ V, $\pm 1,3$ V, dan $\pm 1,7$ V dapat diamati pada kurva CV.



Gambar 3. *Cyclic voltammogram* pengukuran berbagai konsentrasi glukosa dan asam askorbat dalam SBF menggunakan elektroda kertas ZnO/ MWCNTs: Fraksi massa MWCNTs (a) 0,1, (b) 2, dan (c) 8%.

Diferensiasi tegangan oksidasi yang teridentifikasi pada kurva CV dapat merujuk pada publikasi Wisitsoraat dkk. (2009) dan Chen dkk. (2013). Tegangan oksidasi dari asam askorbat dan glukosa dengan referensi tegangan Ag/AgCl berturut-turut adalah 0,28 V dan 0,4 V. Nilai tegangan ini bersesuaian dengan tegangan puncak yang diamati pada studi ini. Puncak tegangan (kurva maksimum lokal) > 1V dimungkinkan akibat oksidasi material bio lainnya dari bahan kertas dan komponen lainnya dalam SBF.



Gambar 4. Respon arus luaran CV untuk penggunaan nanokomposit dengan variasi fraksi massa MWCNTs 0,1 (a), 2 (b), dan 8% (c). Lingkaran hitam untuk respon asam askorbat, lingkaran merah untuk respon glukosa, dan lingkaran biru untuk respon arus maksimum.

Analisis kuantitatif terhadap respon arus CV untuk menunjukkan sensitivitas elektroda dapat dilihat pada Gambar 4. Untuk fraksi massa MWCNTs 0,1%, respon linier ($R^2 > 0,7$) hanya didapat untuk konsentrasi asam askorbat dan glukosa hingga 1,28 mM. Sensitivitas respon arus (gradien) untuk asam askorbat adalah $0,051 \mu A/mM.cm^2$ dan sensitivitas glukosa adalah $0,061 \mu A/mM.cm^2$, dengan integral respon arus sebesar 6–9 % dari total arus CV yang terekam. Untuk fraksi massa MWCNTs 2% dan 8%, respon linier didapatkan untuk konsentrasi asam askorbat dan glukosa hingga 5,12 mM. Integral respon arus untuk fraksi 2 dan 8% terhadap total arus CV berturut-turut adalah 10–35% dan 16–40%. Adapun sensitivitas pengukuran asam askorbat adalah 0,015 dan 0,009 $\mu A/mM.cm^2$ untuk fraksi massa 2 dan 8%, sedangkan

sensitivitas pengukuran glukosa adalah 0,082 dan 0,077 $\mu\text{A}/\text{mM}\cdot\text{cm}^2$ untuk fraksi massa 2 dan 8%.

Hasil di atas mengindikasikan bahwa 0,1% massa MWCNTs tidak mampu memperlebar jangkauan sensor untuk konsentrasi yang besar. Menurunnya sensitivitas pengukuran untuk kandungan MWCNTs yang lebih besar (8%) dapat dikarenakan total reaktivitas yang berkurang. ZnO merupakan nanopartikel yang penuh dengan cacat permukaan yang secara sengaja digunakan untuk aplikasi sensor. Demikian pula dengan MWCNTs, permukaannya yang tertekuk memiliki reaktivitas yang tinggi dimana jumlah lekukan nanotubes akan berkurang apabila MWCNTs secara homogeny berjajar karena proses *assembly* saat pengkompositan. Pada konsentrasi yang tinggi, tertutupnya permukaan kimia ZnO yang juga reaktif terhadap senyawa bio oleh MWCNTs memungkinkan total reaktivitasnya berkurang terhadap senyawa bio yang diukur, sehingga sensitivitasnya pun akan turun.

4. KESIMPULAN

Sensor elektrokimia berbasis kertas terdekorasi ZnO/MWCNTs telah berhasil menunjukkan karakter elektroanalitik untuk mendeteksi glukosa dan asam askorbat dalam *simulated body fluid*. Desain sensor menunjukkan bahwa MWCNTs terjerap secara kimia pada permukaan ZnO melalui gugus -COOH dengan kerapatan permukaan yang kurang merata. Dari tiga variasi fraksi massa MWCNTs, respon arus *cyclic voltammetry* pada elektroda ZnO terdoping 2% MWCNTs menunjukkan sensitivitas pengukuran glukosa yang paling tinggi yang kemungkinan besar diakibatkan oleh total reaktivitas permukaan yang lebih besar dibandingkan doping 0,1 dan 8%.

5. ACKNOWLEDGMENT/UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas bantuan finansial dari LPPM ITS untuk hibah penelitian pemula sesuai surat perjanjian pelaksanaan penelitian No: 1373/PKS/ITS/2018.

6. DAFTAR PUSTAKA

Akyazi, T.; Basabe-Desmonts, L.; Benito-Lopez, F.. Review on microfluidic paper-based analytical devices towards commercialisation. *Analytica chimica acta*, 2017, 1001, 1-17.

Chen, R.; Li, Y.; Huo, K.; Chu, P. K. Microelectrode arrays based on carbon nanomaterials: emerging electrochemical sensors for biological and environmental application. *RSC Advances* 2013, 3, 18698-18715,

Dobrzanska-Danikiewicz, A. D.; Lukowiec, D.; Cichoki, D.; Wolany, W. Carbon nanotubes manufacturing using the CVD equipment against the background of other methods, *Archives of Materials Science and Engineering* 2013, 64 (2), 103-109.

Dungchai, W.; Chailapakul, O.; Henry, C. S., Electrochemical detection for paper-based microfluidics, *Anal. Chem.*, 2009, 81, 5821-5826.

Fu, Y. Q. ; Luo, J. K. ; Du, X. Y.; Flewitt, A. J.; Li, Y.; Markx, G. H.; Walton, A. J.; Milne, W. I., Recent developments

on ZnO films for acoustic wave based bio-sensing and microfluidic application: a review, *Sensors and Actuators B: Chemical* 2010, 143, 606-619.

Gabriel, E. F.; Garcia, P. T.; Cardoso, T. M.; Lopes, F. M.; Martins, F. T.; Coltro, W. K. Highly sensitive colorimetric detection of glucose and uric acid in biological fluids using chitosan-modified paper microfluidic devices. *Analyst*, 2016, 141(15), 4749-4756.

Gallay, P.; Tosi, E.; Madrid, R.; Tirado, M.; Comedi, D., Glucose biosensor based on functionalized ZnO nanowire/graphite films dispersed on a Pt electrode, *Nanotechnology*, 2016, 27, 425501.

Kokubo, T.; Takadama, H. How useful is SBF in predicting in vivo bone bioactivity?, *Biomaterials* 2006, 27, 2907-2915.

Hu, J.; Wang, S.; Wang, L.; Li, F.; Pingguan-Murphy, B.; Lu, T. J.; Xu, F. Advances in paper-based point-of-care diagnostics. *Biosensors and Bioelectronics*, 2014, 54, 585-597.

Li, X.; Ballerini, D. R.; Shen, W., A perspective on paper-based microfluidics: current status and future, *Biomicrofluidics*, 2012, 6 (1), 011301.

Li, X.; Zhao, C.; Liu, X., A paper-based microfluidic biosensor integrating zinc oxide nanowires for electrochemical glucose deteksi, *Microsystems & Nanoengineering*, 2015, 1, 15014.

Martinez, A. W.; Phillips, S. T.; Whitesides, G. M.; Carrilho, E., Diagnostic for the developing world: microfluidic paper-based analytical devices, *Anal. Chem.*, 2010, 82 (1), 3-10.

Martinez, A. W.; Phillips, S. T.; Nie, Z.; Cheng, C.-M.; Carrilho, E.; Wiley, B. J.; Whitesides, G. M. Programmable diagnostic devices made from paper and tape. *Lab on a Chip*, 2010, 10(19), 2499-2504.

Muhimmah, L. C.; Roekmono, H. Hadi, R. A. Yuwono, R. A. Wahyuono, Blood Plasma Separation in ZnO Nanoflowers-Supported Paper Based Microfluidic for Glucose Sensing, *AIP Conference Proceeding*, 2018, 1945, 020006-1 - 020006-6.

Pandey, P.; Parra, M. R.; Haque, F. Z.; Kurchania, R., Effect of annealing temperature optimization on the efficiency of ZnO nanoparticle photoanode based dye sensitized solar cells, *J. Mater. Sci.: Mater. Elect.*, 2017, 28, 1537-1545.

Roekmono; Muhimmah, L. C.; Hadi, H.; Yuwono, R. A.; Wahyuono, R. A. Deteksi Kadar Glukosa Dalam Plasma Darah Terpisah Oleh Mikrofluida Terintegrasi Partikel Nano ZnO Berbasis Spektroskopi Inframerah dan Raman. *Jurnal Integrasi Proses* 2017, 6 (4), 148-154.

Roekmono; Hadi, H.; Imtihani, H. N.; Muhimmah, L. C.; Yuwono, R. A.; Wahyuono, R. A. Glucose and Cholesterol Sensing in Blood Plasma Using ZnO-Paper Based Microfluidics. *International Journal of Drug Delivery Technology* 2018, 8 (4), 153-158.

Santhiago, M.; Henry, C. S.; Kubota, L. T. Low cost, simple three dimensional electrochemical paper-based analytical device for determination of p-nitrophenol. *Electrochimica Acta*, 2014, 130, 771-777.

- Shafer-Peltier, K. E.; Haynes, C. L.; Glucksberg, M. R.; Van Duyne, R. P., Toward a Glucose Biosensor based on Surface-Enhanced Raman Scattering, *J. Am. Chem. Soc.*, 2003, 125(2), 588-593.
- Sui, X.-M.; Giordani, S.; Prato, M.; Wagner, H. D., Effect of carbon nanotube surface modification on the dispersion and structural properties of electrospun fibers, *Appl. Phys. Lett.* 2009, 95, 233113.
- Songjaroen, T.; Dungchai, W.; Chailapakul, O.; Henry, C. S.; Laiwattanapaisal, W. Blood separation on microfluidic paper-based analytical devices. *Lab on a Chip*, 2012, 12(18), 3392-3398.
- Syukron, A.; Wahyuono, R. A.; Sawitri, D.; Risanti, D. D., The effect of paste preparation and annealing temperature of ZnO photoelectrode to Dye-sensitized solar cells (DSSC) performance, *Advanced Materials Research*, 2014, 896, 183-186.
- Wahyuono, R. A.; Risanti, D. D.; Shirosaki, T.; Nagaoka, S.; Takafuji, M.; Ihara, H., Photoelectrochemical performance of DSSC with monodisperse and polydisperse ZnO SPs, *AIP Conference Proceedings*, 2014, 1586, 78-81.
- Wahyuono, R. A.; Schmidt, C.; Dellith, A.; Dellith, J.; Schulz, M.; Seyring, M.; Rettenmayr, M.; Plentz, J.; Dietzek, B., ZnO nanoflowers-based photoanodes: aqueous chemical synthesis, microstructure and optical properties, *Open Chemistry*, 2016, 14 (1), 158-169.
- Wahyuono, R. A. ; Hermann-Westerndorf, F.; Dellith, A.; Schmidt, C.; Dellith, J.; Plentz, J.; Schulz, M.; Presselt, M.; Seyring, M.; Rettenmayr, M.; Dietzek, B., Effect of annealing on the sub-bandgap, defects and trapping states of ZnO nanostructures, *Chemical Physics*, 2017, 483-484, 112-121.
- Wisitsoraat, A; Karuwan, C; Wong-Ek, K; Phokharatkul, D; Sritongkham, P; Tuantranon, A. High sensitivity electrochemical cholesterol sensor utilizing a vertically aligned carbon nanotube electrode with electropolymerized enzyme immobilization, *Sensors* 2009, 9 (11), 8658-8668.
- Wu, G.; Zaman, M. H. Low-cost tools for diagnosing and monitoring HIV infection in low-resource settings. *Bulletin of the World Health Organization*, 2012, 90(12), 914-920.
- Yetisen, A. K.; Akram, M. S.; Lowe, C. R. Paper-based microfluidic point-of-care diagnostic devices. *Lab on a Chip*, 2013, 13(12), 2210-2251.
- Yuwono, R. A.; Izdiharruddin, M. F.; Wahyuono, R. A., Integrated ZnO nanoparticles on paper-based microfluidic: toward efficient analytical device for glucose detection based on impedance and FTIR measurement, *Proc. SPIE* 10150, Second International Seminar on Photonics, Optics, and Its Application (ISPhOA 2016), 1015011 (November 11, 2016). doi:10.1117/12.2243827.
- Zhang, N.; Sun, J.; Jiang, D.; Feng, T.; Li, Q., Anchoring zinc oxide quantum dots on functionalized multi-walled carbon nanotubes by covalent coupling, *Carbon*, 2009, 47, 1214-1219.
- Zhang, C.; Wang, G.; Ji, Y.; Liu, M.; Feng, Y.; Zhang, Z.; Fang, B., Enhancement in analytical hydrazine based on gold nanoparticles deposited on ZnO-MWCNTs films, *Sensors and Actuators B*, 2010, 150, 247-253.