

## Studi Literatur Sensor Glukosa Untuk Darah Manusia Menggunakan Sensor Elektrokimia Berbasis *Glassy Carbon Electrode* (GCE) dengan Metode Voltametri

Widya Janatul Putri<sup>1,\*</sup>, Yulkifli<sup>1</sup>, Alizar<sup>2</sup>, Ilyas Md Isa<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Fisika, Universitas Negeri Padang, Indonesia

<sup>2</sup>Jurusan Kimia, Universitas Negeri Padang, Indonesia

<sup>3</sup>Jurusan Kimia, Universitas Pendidikan Sultan Idris, Tanjung Malim, Malaysia

### Info Artikel

#### *Histori Artikel:*

Diajukan: 24 Mei 2021

Direvisi: 27 Agustus 2021

Diterima: 5 September 2021

#### *Kata kunci:*

Sensor elektrokimia

Sensor glukosa

Voltametri

#### *Keywords:*

*Electrochemical Sensor*

*Glucose Measurement*

*Voltammetry*

#### *Penulis Korespondensi:*

Email: [yulkifliamir@fmipa.unp.ac.id](mailto:yulkifliamir@fmipa.unp.ac.id)

### ABSTRAK

Penelitian literatur sensor glukosa dilakukan untuk menganalisis dan membandingkan data spesifikasi desain dari penelitian terdahulu untuk mengetahui material yang berpotensi dikembangkan pada penelitian selanjutnya. Dalam studi literatur digunakan pencarian artikel penelitian dengan menginput kata kunci. Database yang digunakan dalam penelitian adalah Google Scholar. Pada penelitian ini dilakukan analisis data hasil uji respon dari jenis material kimia yang berbeda. Penelitian yang dipilih adalah yang menggunakan pengukuran glukosa dalam darah dengan metode voltametri. Elektroda yang digunakan sama untuk semua penelitian, yaitu *Glassy Carbon Electrode* (GCE). Data uji respon meliputi limit deteksi, *linier range* dan sensitivitas. Data tersebut menunjukkan karakter minimum kualitas sensor glukosa. Sensor akan semakin baik jika sensitivitas tinggi, limit deteksi rendah dan *linier range* yang lebar.

*The glucose sensor literature study was conducted to analyze and compare design specification data from previous studies to identify materials that have the potential to be developed in future studies. In the literature study, a method for research articles was used by input keywords. The database was used in this research is Google Scholar. In this study, data analysis of response test results was carried out from different chemical materials. The research chosen was the one that use the measurement of glucose in the blood by the voltammetric method. The electrode used is the same for all studies, used Glassy Carbon Electrode (GCE). Response test data includes detection limit, linear range, and sensitivity. The data shows the minimum character of the glucose sensor quality. The sensor was good or suitable if the sensitivity is high, the detection limit is low, and the linear range is wide.*

## I. PENDAHULUAN

Penyakit diabetes merupakan gangguan metabolisme karbohidrat karena produksi insulin oleh pankreas tidak mencukupi. Terjadinya defisiensi insulin ditandai dengan meningkatnya kadar glukosa dalam darah atau urin. Terjadinya defisiensi insulin pada penderita diabetes memberikan dampak kesehatan yang buruk, salah satunya adalah penyakit komplikasi hingga kematian. Pakar kesehatan menyarankan penderita diabetes rutin melakukan pengukuran kadar glukosa. Hal ini dapat meningkatkan kelangsungan hidup penderita diabetes. Pengontrolan kadar gula darah dapat dilakukan dengan menggunakan alat yang tersedia di pusat kesehatan dan juga di apotik. Bagian terpenting dari alat ukur kadar glukosa dalam darah adalah kemampuan untuk mengukur konsentrasi dari glukosa tersebut. Oleh karena itu, dilakukan penelitian studi literatur sensor glukosa sebagai tahap awal untuk mengetahui material sensor yang berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut.

Pengembangan awal alat untuk mengukur kadar gula darah telah dilakukan selama 40 tahun terakhir. Alat pertama dikembangkan oleh Clark dan Lyons pada 1962 dengan alat pendeteksi glukosa berbasis enzimatis. Jenis enzim yang digunakan masih terbatas pada *Glucose Oxidase* (GOx) dan *Glucose Dehydrogenase* (GDH). GOx dan GDH adalah enzim yang paling umum digunakan untuk sensor glukosa dengan metode enzimatis. Kelebihan dari sensor enzimatis GOx dan GDH adalah selektif mengukur molekul glukosa dan stabil. Namun memiliki kekurangan dari segi ketahanan, sensor akan rusak jika berada pada larutan dengan pH dibawah 2 dan pH diatas 8. (Hwang et al., 2018)

Berdasarkan pada syarat kelayakan untuk syarat minimum sensor glukosa yang diatur oleh *International Organization for Standardization* (ISO) salah satunya adalah tidak ada ketergantungan terhadap oksigen. Selain oksigen, pada Tabel 1 dapat dilihat syarat minimum untuk memproduksi sensor glukosa yang diatur oleh ISO. (Nanda et al., 2017)

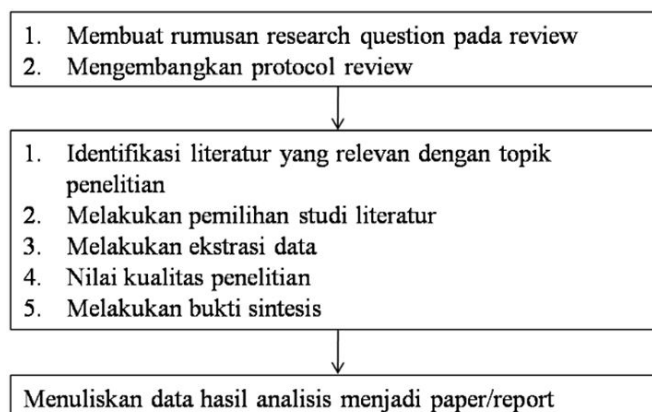
**Tabel 1** Syarat Minimum Sensor Glukosa

Properti	Alasan dan/atau diperlukan respon minimum
Selektivitas	Selektif mendeteksi glukosa tanpa dipengaruhi oleh sumber lain
Sensitivitas	Nilai minimum sensitivitas adalah $1\mu\text{A cm}^{-2} \text{ mM}^{-1}$
Tidak ada ketergantungan oksigen	Pada sistem GOD ( <i>Glucose Oxidase</i> ) keberadaan oksigen memberikan pengaruh pengukuran
Stabilitas	Masa pakai melebihi 6 bulan dan mampu melakukan pengukuran berulang
Akurasi dan presisi	Memiliki minimum error 20% dengan 95% dari waktu
Biokompatibilitas	Untuk penggunaan secara in-vivo dibutuhkan respon minimum biokompatibilitas karena adanya respon imun dan komponen biologis
Biaya Fabrikasi	Proses fabrikasi sensor tidak membutuhkan operasional yang tinggi
Mudah Fabrikasi	Kemudahan dalam proses produksi secara fabrikasi

## II. METODE

### 2.1 Strategi Pencarian Literatur

Penelitian ini menggunakan teknik pengumpulan data melalui studi literatur. Pengumpulan data dengan menggunakan studi literatur melalui tiga tahapan. Pertama adalah tahap perencanaan (*planning*), kedua tahap pelaksanaan (*conducting*), dan ketiga adalah tahap pelaporan (*reporting*). Secara rinci ketiga bagian tersebut dibagi kembali menjadi beberapa tahapan seperti pada Gambar 1.



**Gambar 1** Metode Pengumpulan Data

## 2.2 Sintesis

Sintesis merupakan proses kimiawi untuk menghasilkan material sensor. Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia, sintesis merupakan proses yang melibatkan reaksi kimia antara dua atau lebih zat untuk menghasilkan zat baru. Proses sintesis material telah banyak digunakan dalam menghasilkan sensor untuk pengembangan teknologi modern. Dalam penelitian ini terdapat berbagai metode sintesis kimia yang digunakan untuk menghasilkan material sensor glukosa yaitu *Physical Vapor Deposition* (PVD), *Chemical Vapor Deposition* (CVD) dan sintesis solvotermal,

## 2.3 Modifikasi *Glassy Carbon Electrode*

Material sensor yang telah diperoleh melalui proses sintesis selanjutnya diaplikasikan pada *Glassy Carbon Electrode* (GCE). Elektroda terbuat dari berbagai bahan karbon berstruktur nano, seperti karbon nanotube, karbon mesopori dan graphene. Elektroda digunakan dalam katalis heterogen dan elektrokatalisis untuk dukungan katalis agar meningkatkan efisiensi katalitik karena pemanfaatan katalis yang lebih baik dan pengurangan muatan katalis. *Glassy Carbon* (GC) dibangun dengan menggunakan karbon non-grafit melalui proses pirolisis prekursor polimer. Secara mikro, GC memiliki struktur fragmen diskrit menyerupai bidang karbon melengkung yang tidak sempurna. Bentuk jaringan dari GC berupa molekul pita grafit yang bertumpuk. *Glassy Carbon* didapatkan melalui proses sintesis pada suhu yang tinggi yaitu minimal 2000°C. Jaringan bidang karbon acak dan kusut membentuk struktur karbon padat. Proses modifikasi GCE sebagai sensor glukosa dilakukan dengan mendispersikan material sensor terlebih dahulu. Larutan material sensor yang telah melalui proses dispersi selanjutnya diletakan pada lapisan karbon GCE.

## 2.4 Pengukuran Metode Voltametri

Proses pengukuran karakter minimum sensor glukosa dilakukan dengan menggunakan metode voltametri. Voltametri adalah teknik elektrokimia yang berkaitan dengan hubungan besaran listrik terhadap peristiwa kimiawi. Besaran listrik yang dilibatkan berupa arus, potensial dan tegangan. Pengukuran voltametri melibatkan teknik elektro analitik dengan prinsip elektrolisis. Voltametri menggunakan tiga elektroda, salah satunya adalah elektroda kerja yang menggunakan GCE modifikasi dengan material sensor. Parameter pengukuran yang ditentukan adalah limit deteksi (LoD), sensitivitas dan *linier range*. Limit Deteksi (LoD) merupakan nilai yang menunjukkan konsentrasi yang terdeteksi dalam jumlah yang terkecil/terendah dari sampel material sensor. Namun nilai yang dihasilkan tidak terkuantisasi sehingga nilai bukan menunjukkan kriteria akurasi dan presisi. Nilai batas keberterimaan untuk akurasi kurang dari 5%, sedangkan untuk presisi batas keberterimaannya apabila nilai RSD (Standar Deviasi Relatif) lebih kecil dari nilai  $2/3$  ( $CV_{Horwitz}$ ). Sensitivitas merupakan grafik yang menunjukkan perbandingan perubahan sinyal untuk setiap penambahan konsentrasi analit. Proses pengukuran sensitivitas diperoleh dari arus reduksi dari *working electrode* dari analit yang konsentrasinya sudah ditentukan. Penentuan kualitas sensitivitas didapat dari nilai *scan rate* yang merupakan bagian terpenting untuk melakukan analisis sensitivitas. Variasi dari nilai potensial *scan rate* didapat dari puncak anoda yang terus meningkat secara linier (Isa et al., 2012). *Linier range* diperoleh dari kurva respon yang linier terhadap *slope* yang didapatkan dari pengukuran voltametri.

Hasil pengukuran berupa daerah (*range*) yang didapat dari kurva kalibrasi yang diplot antara sumbu x dan y. Sumbu x pada kurva menunjukkan konsentrasi dari material sensor atau analit, sedangkan sumbu y merupakan nilai arus yang dihasilkan.

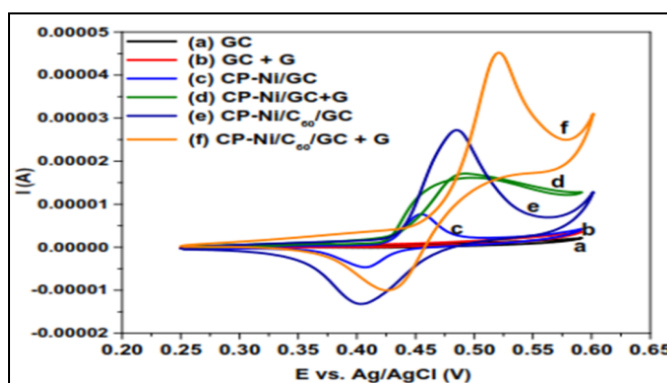
### III. HASIL DAN DISKUSI

Pada area penelitian topik yang telah dikumpulkan melalui studi literatur dari penelitian terdahulu, diperoleh data sensor elektrokimia yang bersifat non-enzimatik dan metode pengukuran yang digunakan adalah metode voltametri. Pada Tabel 2 menunjukkan data penelitian yang menggunakan *working electrode* berjenis *Glassy Carbon Electrode*. Dengan mengetahui nilai LoD, sensitivitas, dan *linier range* maka dapat dijadikan sebagai acuan untuk mengetahui material sensor yang berpotensi untuk dikembangkan pada penelitian selanjutnya.

**Tabel 2** Hasil Pengukuran Karakteristik Sensor Glukosa

Material	LOD ( $\mu\text{M}$ )	Sensitivitas ( $\mu\text{A mM}^{-1} \text{cm}^{-3}$ )	Linier Range (mM)	Referensi
Ni(II) 1D-CP/C <sub>60</sub>	4,3	614,29	0,01-3	(Shahhoseini et al., 2019)
CuNiO	16	225,7	0,05-6,9	(X. Zhang et al., 2015)
PtNi-ERGO	10	20,42	Up to 35	(Gao et al., 2011)
SBA-15-Cu(II)	0,075	-	0,5 $\mu\text{M}$ - 2	(Shamsipur et al., 2017)
HAC-NiO	1	199,86	0,01-3,3	(Ni et al., 2017)
CuO-NFs	0,8	431,1	6 $\mu\text{M}$ -2,5	(Wang et al., 2009)
Cu@C	0,05	437,8	0-3	(Zhao et al., 2013)
Cu NWs	0,035	420,3	0-3	(Yuchan Zhang et al., 2012)
RGO-Ni(OH) <sub>2</sub>	0,6	11,4	2 $\mu\text{M}$ – 3,1	(Yue Zhang et al., 2011)
Cu <sub>2</sub> O	1,3	154,2	2 $\mu\text{M}$ – 3,5	(L. Zhang et al., 2010)

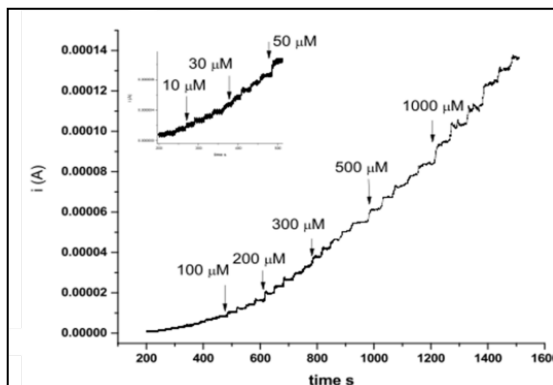
Berdasarkan Tabel 2 yang didapat dari penelitian literatur diperoleh bahwa material dengan nilai *linier range* terbaik adalah CuNiO yaitu dengan nilai sebesar 0,05-6,9 mM. Material dengan nilai sensitivitas terbaik adalah Ni(II) 1D-CP/C<sub>60</sub> yaitu dengan nilai 614,29  $\mu\text{A mM}^{-1} \text{cm}^{-3}$ . Material dengan nilai limit deteksi (LoD) terbaik adalah Cu NWs yaitu dengan nilai 0,035  $\mu\text{M}$ . Hasil performansi menunjukkan sensor glukosa pada darah manusia menggunakan sensor elektrokimia dapat dikembangkan menjadi sensor glukosa yang sensitif dan selektif. Material sensor dilakukan uji respon dengan metode voltametri yang memberikan respon grafik berupa siklik voltametri dan amperometrik. Hasil uji respon tersebut menjadi acuan untuk perhitungan LoD, sensitivitas dan *linier range*. Gambar 2 merupakan contoh tampilan grafik pengukuran uji respon material Ni(II) 1D-CP/C<sub>60</sub> dengan voltametrik untuk mengetahui kepekaan GCE yang telah dimodifikasi dengan Ni(II) 1D-CP/C<sub>60</sub>



**Gambar 2** Grafik CV uji respon sensor menggunakan *bare Glassy Carbon* (a,b), CP-Ni (d,e), dan CP-Ni/C<sub>60</sub>(e,f) dengan kehadiran glukosa (b,d,f) dan tanpa glukosa (a,c,e)

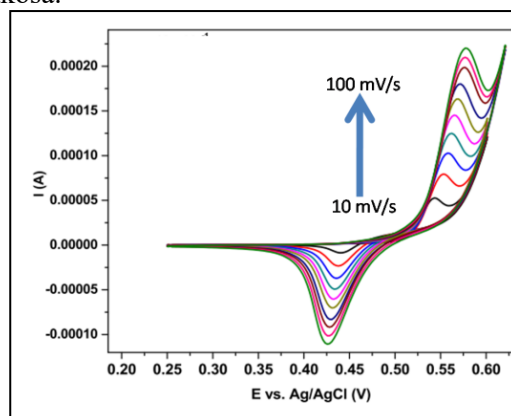
Grafik f pada Gambar 2 menunjukkan adanya kemunculan *peak* dengan nilai yang lebih besar. Kemunculan *peak* pada grafik f yang tinggi disebabkan karena GCE dimodifikasi dengan SP-Ni menangkap adanya reaksi oksidasi akibat keberadaan glukosa dalam elektrolit. Sementara pada grafik

e juga ditemukan peak yang cukup tinggi setelah GCE dimodifikasi dengan CP-Ni namun belum disertakan dengan glukosa dalam elektrolit. Artinya sensor Ni(II) 1D-CP/C<sub>60</sub> dapat membedakan keberadaan glukosa dalam larutan. Interaksi yang terjadi antara Ni(II) 1D-CP/C<sub>60</sub> dengan glukosa dapat dilihat pada Gambar 2 yang menunjukkan perubahan arus difusi pada voltametri saat terdapat kehadiran glukosa.



**Gambar 3** Respon amperometrik terhadap penambahan konsentrasi glukosa

Pada Gambar 3 merupakan hasil pengukuran respon amperometrik dengan penambahan konsentrasi glukosa dari 100 µM hingga 1 mM glukosa. Dari grafik dapat dilihat bahwa sensor mampu membedakan kuantitas konsentrasi glukosa melalui peningkatan arus difusi untuk setiap penambahan konsentrasi glukosa.



**Gambar 4** CV uji respon untuk variasi nilai *scan rate*

Gambar 4 merupakan hasil pengukuran CV untuk Ni(II) 1D-CP/C<sub>60</sub> dengan nilai *scan rate* yang bervariasi mulai dari 10 mV/s hingga 100 mV/s. Data hasil pengukuran menunjukkan material sensor memiliki stabilitas yang baik karena mengalami peningkatan yang linier untuk setiap variasi *scan rate*.

#### IV. KESIMPULAN

Sensor glukosa memiliki karakter minimum dimana kualitas sensor akan semakin baik jika sensitivitas tinggi, limit deteksi rendah dan linier range yang lebar. Dapat dilihat dari data bahwa penggunaan material Cu memiliki limit deteksi yang paling rendah, yaitu pada material modifikasi SBA-15-Cu(II). Material dengan nilai sensitivitas yang paling tinggi diperoleh oleh Ni pada Ni(II)1D-CP/C<sub>60</sub> dengan nilai 614,29 µA mM<sup>-1</sup>cm<sup>-3</sup>. Material Pt pada memberikan nilai *linier range* yang lebar hingga 35 mM. Data tersebut merupakan spesifikasi performansi sensor glukosa berbasis elektrokimia. Hasil performansi menunjukkan rancang bangun sensor glukosa pada darah manusia menggunakan sensor elektrokimia dapat dikembangkan menjadi alat ukur yang sensitif dan selektif.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Universitas Negeri Padang untuk PTPT-PENELITIAN KERJASAMA PERGURUAN TINGGI LUAR NEGERI TERAPAN, Nomor kontrak 1016/UN35.13/LT/2021. Terimakasih untuk semua pihak yang terlibat dalam membantu pengembangan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Gao, H., Xiao, F., Ching, C. B., & Duan, H. (2011). One-step electrochemical synthesis of PtNi nanoparticle-graphene nanocomposites for nonenzymatic amperometric glucose detection. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 3(8), 3049–3057. doi: 10.1021/am200563f
- Hwang, D. W., Lee, S., Seo, M., & Chung, T. D. (2018). Recent advances in electrochemical non-enzymatic glucose sensors – A review. *Analytica Chimica Acta*, 1033, 1–34. doi: 10.1016/j.aca.2018.05.051
- Isa, I. M., Dahlan, S. N. A., Hashim, N., Ahmad, M., & Ghani, S. A. (2012). Electrochemical sensor for cobalt(ii) by modified carbon paste electrode with zn/al-2(3-chlorophenoxy)propionate nanocomposite. *International Journal of Electrochemical Science*, 7(9), 7797–7808.
- Nanda, F., Puryanti, D., & Muttaqin, A. (2017). Pengaruh Jenis Zeolit Terhadap Sensitivitas Sensor Non-Enzimatis untuk Mendeteksi Glukosa. *Jurnal Fisika Unand*, 6(4), 394–399. doi: 10.25077/jfu.6.4.394-399.2017
- Ni, Y., Xu, J., Liang, Q., & Shao, S. (2017). Enzyme-free glucose sensor based on heteroatom-enriched activated carbon (HAC) decorated with hedgehog-like NiO nanostructures. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 250, 491–498. doi: 10.1016/j.snb.2017.05.004
- Shahhoseini, L., Mohammadi, R., Ghanbari, B., & Shahrokhan, S. (2019). Ni(II) 1D-coordination polymer/C 60 -modified glassy carbon electrode as a highly sensitive non-enzymatic glucose electrochemical sensor. *Applied Surface Science*, 478(November 2018), 361–372. doi: 10.1016/j.apsusc.2019.01.240
- Shamsipur, M., Karimi, Z., Amouzadeh Tabrizi, M., & Rostamnia, S. (2017). Highly sensitive non-enzymatic electrochemical glucose sensor by afion/SBA-15-Cu (II) modified glassy carbon electrode. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 799(Ii), 406–412. doi: 10.1016/j.jelechem.2017.06.029
- Wang, W., Zhang, L., Tong, S., Li, X., & Song, W. (2009). Three-dimensional network films of electrospun copper oxide nanofibers for glucose determination. *Biosensors and Bioelectronics*, 25(4), 708–714. doi: 10.1016/j.bios.2009.08.013
- Zhang, L., Ni, Y., & Li, H. (2010). Addition of porous cuprous oxide to a Nafion film strongly improves the performance of a nonenzymatic glucose sensor. *Microchimica Acta*, 171(1), 103–108. doi: 10.1007/s00604-010-0415-0
- Zhang, X., Liao, Q., Liu, S., Xu, W., Liu, Y., & Zhang, Y. (2015). CuNiO nanoparticles assembled on graphene as an effective platform for enzyme-free glucose sensing. *Analytica Chimica Acta*, 858(1), 49–54. doi: 10.1016/j.aca.2014.12.007
- Zhang, Yuchan, Su, L., Manuzzi, D., de los Monteros, H. V. E., Jia, W., Huo, D., Hou, C., & Lei, Y. (2012). Ultrasensitive and selective non-enzymatic glucose detection using copper nanowires. *Biosensors and Bioelectronics*, 31(1), 426–432. doi: 10.1016/j.bios.2011.11.006
- Zhang, Yue, Xu, F., Sun, Y., Shi, Y., Wen, Z., & Li, Z. (2011). Assembly of Ni(OH)<sub>2</sub> nanoplates on reduced graphene oxide: A two dimensional nanocomposite for enzyme-free glucose sensing. *Journal of Materials Chemistry*, 21(42), 16949–16954. doi: 10.1039/c1jm11641j
- Zhao, Y., He, Z., & Yan, Z. (2013). Copper@carbon coaxial nanowires synthesized by hydrothermal carbonization process from electroplating wastewater and their use as an enzyme-free glucose sensor. *Analyst*, 138(2), 559–568. doi: 10.1039/c2an36446h