

**STUDI LITERATUR SENSOR GLUKOSA UNTUK DARAH MANUSIA
MENGUNAKAN SENSOR ELEKTROKIMIA BERBASIS GLASSY
CARBON ELECTRODE (GCE) DENGAN
METODE VOLTAMETRI**

SKRIPSI

*Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk
memperoleh gelar Sarjana Sains*



**Oleh :
WIDYA JANATUL PUTRI
NIM/TM. 16034048/2016**

**PROGRAM STUDI FISIKA JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG**

2021

PERSETUJUAN SKRIPSI

STUDI LITERATUR SENSOR GLUKOSA UNTUK DARAH
MANUSIA MENGGUNAKAN SENSOR ELEKTROKIMIA
BERBASIS *GLASSY CARBON ELECTRODE* (GCE)
DENGAN METODE VOLTAMETRI

Nama : Widya Janatul Putri
NIM : 16034048
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Juni 2021

Mengetahui:
Ketua Jurusan Fisika

Dr. Ratnawulan, M. Si
NIP. 19690120 1993032 002

Disetujui Oleh:
Pembimbing

Dr. Yulkifli, S.Pd, M.Si
NIP. 197307022003121002

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama : Widya Janatul Putri
NIM : 16034048
Prodi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam

**RANCANG BANGUN ALAT UKUR GLUKOSA UNTUK DARAH
MANUSIA MENGGUNAKAN SENSOR ELEKTROKIMIA
BERBASIS *GLASSY CARBON ELECTRODE* (GCE)
DENGAN METODE VOLTAMETRI**

Dinyatakan Lulus Setelah Dipertahankan Di Depan Tim Penguji Skripsi Jurusan
Fisika Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Padang, 3 Juni 2021

Tim Penguji

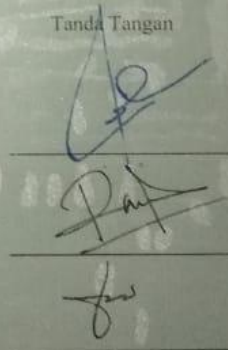
Nama

Tanda Tangan

Ketua : Dr. Yulkifli. S.Pd, M.Si

Anggota : Dr. Ramli, S. Pd, M. Si

Anggota : Alizar, S. Pd, M. Sc, Ph. D



PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini, tugas akhir berupa skripsi dengan judul "Studi Literatur Sensor Glukosa Untuk Darah Manusia Menggunakan Sensor Elektrokimia Berbasis *Glassy Carbon Electrode* (GCE) Dengan Metode Voltametri", adalah asli karya sendiri.
2. Di dalam karya tulis ini berisi gagasan, rumusan, dari penelitian saya, tanpa bantuan pihak lain, kecuali pembimbing.
3. Di dalam Karya tulis ini, tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan di dalam naskah dengan menyebutkan pengarang dan dicantumkan pada kepustakaan.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila terdapat penyimpangan di dalam ada pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai norma dan ketentuan hukum yang berlaku.

Padang, Juni 2021

Pernyataan



Widya Janatul Putri
16034048

STUDI LITERATUR SENSOR GLUKOSA UNTUK DARAH MANUSIA MENGUNAKAN SENSOR ELEKTROKIMIA BERBASIS GLASSY CARBON ELECTRODE (GCE) DENGAN METODE VOLTAMETRI

Widya Janatul Putri

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian secara literatur untuk mengetahui data spesifikasi desain untuk merancang sebuah sensor yang dapat mendeteksi glukosa dalam darah manusia dengan menggunakan jenis sensor elektrokimia. Dalam studi literatur digunakan pencarian artikel penelitian dengan menginput kata kunci. Database yang digunakan dalam penelitian adalah Google Scholar. Kata kunci yang digunakan adalah “*glucose sensor*”, “*electrochemical sensor*”, “*Glassy Carbon Electrode*” “*voltammetry*”, “*non enzymatic*”, dan “*blood sample*”. Sehingga dari kata kunci tersebut dilakukan proses ekstraksi data yang menghasilkan sepuluh penelitian.

Sensor elektrokimia merupakan salah satu jenis sensor yang digunakan pada perancangan alat ukur glukosa untuk menentukan kadar glukosa pada darah manusia. Sensor elektrokimia dibuat dengan menggunakan sintesis kimia anorganik sehingga menghasilkan material sensor yang dapat merubah peristiwa kimia menjadi besaran listrik. Pada penelitian ini dilakukan analisis hasil uji respon beberapa jenis sensor modifikasi terhadap glukosa dalam darah dengan metode voltametri. Elektroda yang digunakan adalah *Glassy Carbon Electrode* (GCE). Data uji respon meliputi limit deteksi, linier range dan sensitivitas. Sensor glukosa memiliki karakter minimum dimana kualitas sensor akan semakin baik jika sensitivitas tinggi, limit deteksi rendah dan linier range yang lebar. Senyawa kimia yang digunakan meliputi Cu, Ni, dan Pt yang telah melalui proses sintesis untuk menjadi material sensor.

Berdasarkan penelitian literatur yang dilakukan didapatkan bahwa material dengan nilai linier range terbaik adalah CuNiO yaitu dengan nilai sebesar 0.05-6.9 mM. 2. Material dengan nilai sensitivitas terbaik adalah Ni(II) 1D-CP/C60 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 μM . Hasil performansi menunjukan sensor glukosa pada darah manusia menggunakan sensor elektrokimia dapat dikembangkan menjadi sensor glukosa yang sensitif dan selektif.

Kata Kunci: Sensor Glukosa, Sensor Elektrokimia, Glassy Carbon Electrode, Metode Voltametri

KATA PENGANTAR



Alhamdulillah, segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT, karena atas segala rahmat, nikmat dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Shalawat serta salam senantiasa kita curahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Judul dari Tugas Akhir ini adalah **“Studi Literatur Sensor Glukosa Untuk Darah Manusia Menggunakan Sensor Elektrokimia Berbasis *Glassy Carbon Electrode* (GCE) dengan Metode Voltametri”** disusun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.

Penulis dapat menulis Tugas Akhir ini karena adanya bantuan, bimbingan serta petunjuk dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Yulkifli, S.Pd, M.Si, sebagai pembimbing atas segala bantuannya yang tulus dan ikhlas memberikan motivasi, bimbingan, arahan dan saran dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
2. Bapak Alizar, S.Pd, M.Sc, Ph.D sebagai penguji skripsi sekaligus membantu penulisan dalam penyelesaian skripsi yang telah meluangkan waktu dan memberi masukan, kritikan dan pandangan kepada peneliti untuk menyempurnakan skripsi ini.

3. Bapak Dr. Ramli, S.Pd, M.Si, sebagai penguji skripsi sekaligus Penasehat Akademik, yang telah meluangkan waktu dan memberi masukan, kritikan dan pandangan kepada peneliti untuk menyempurnakan skripsi ini.
4. Prof. Ilyas MD Isa, sebagai supervisor saat PKL yang telah membantu peneliti menemukan permasalahan untuk penelitian ini, meluangkan waktu dan memberi masukan, kritikan dan pandangan kepada peneliti untuk menyempurnakan skripsi ini.
5. Ibu Dr. Hj. Ratnawulan, M. Si, selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.
6. Ibu Syafriani, M. Si, Ph. D, sebagai Ketua Prodi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.
7. Bapak dan Ibu Dosen jurusan Fisika FMIPA UNP.
8. Staf administrasi dan Laboran di Laboratorium Fisika FMIPA UNP.
9. Keluarga tercinta serta seluruh orang tersayang yang telah memberikan motivasi, bantuan material, non material, serta kasih sayang dan dukungan.
10. Sahabat yang sudah banyak memberika dukungan dan motivasi untuk menyelesaikan skripsi.
11. UKM Robotika UNP yang telah menjadi wadah untuk mengembangkan diri dan menjadi keluarga kedua bagi peneliti selama menjalani perkuliahan.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, peneliti telah berusaha menyelesaikan dengan sebaik mungkin, akan tetapi penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu peneliti berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca sebagai referensi serta sebagai sarana untuk menambah ilmu pengetahuan dan informasi.

Padang, Mei 2021

Peneliti

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	5
C. Batasan Masalah	5
D. Tujuan Penelitian	5
E. Manfaat Penelitian	5
BAB II KERANGKA TEORITIS	7
A. Tinjauan Spesifikasi.....	7
B. Alat Ukur Glukosa	14
C. Sintesis Anorganik	20
D. Sensor Elektrokimia.....	27
E. <i>Glassy Carbon Electrode</i> (GCE)	30
F. Metode Voltametri	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	41
A. Tempat Dan Waktu Penelitian	41
B. Startegi Pencarian Literatur	41
C. Jenis Penelitian.....	42
D. Prosedur Penelitian	43
G. Teknik Analisis Data.....	466
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	497
A. Hasil Penelitian	497
B. Pembahasan.....	69
BAB V PENUTUP	72

A. Kesimpulan	72
B. Saran.....	72
DAFTAR PUSTAKA.....	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Prinsip kerja teknologi CGM	13
Gambar 2. Klasifikasi jenis sensor pada teknologi CGM	15
Gambar 3. Reaksi kimia dari proses Non-Enzimatis	17
Gambar 4. Metode PVD.....	19
Gambar 5. Proses CVD	20
Gambar 6. Bagian alat sonokimia	24
Gambar 7. Elektroda sensor potensiometrik	27
Gambar 8. Prinsip kerja sensor impedimetrik.....	28
Gambar 9. <i>Glassy Carbon Electrode</i> (GCE)	29
Gambar 10. Sel voltametri	31
Gambar 11. Rangkaian elektroda pada voltametri.....	32
Gambar 12. Prinsip kerja elektroda pada voltametri.....	34
Gambar 13. Voltammogram	35
Gambar 14. Siklus <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV).....	36
Gambar 15. Kurva hasil pengukuran <i>Cyclic Volammetry</i> (CV)	37
Gambar 16. Voltammogram <i>Square Wave Voltammetry</i> (SWV)	38
Gambar 17. Kurva hasil pengukuran SWV	38
Gambar 18. Tahapan pengumpulan data.....	42
Gambar 19. Grafik CV uji respon sensor Ni(II) 1D-CP/C ₆₀	46
Gambar 20. Respon amperometrik Ni(II) 1D-CP/C ₆₀	47
Gambar 21. CV uji respon nilai scan rate Ni(II) 1D-CP/C ₆₀	47
Gambar 22. Proses preparasi GCE Modifikasi CuNiO.....	48
Gambar 23. CV uji respon sensor CuNiO.....	49
Gambar 24. Respon amperometrik CuNiO.....	50
Gambar 25. CV uji respon dengan variasi nilai scan rate CuNiO	50
Gambar 26. (A) CV uji repon GCE modifikasi PtNi/ERGO/GCE.....	51
Gambar 27. Respon amperometrik GCE modifikasi PtNi-ERGO.....	52
Gambar 28. CV uji respon GCE SBA-15-Cu(II).....	54
Gambar 29. Respon amperometrik SBA-15-Cu(II)	54

Gambar 30. CV uji respon dengan variasi scan rate SBA-15-Cu(II).....	55
Gambar 31. CV uji respon untuk variasi GCE Modifikasi HAC-NiO	56
Gambar 32. Respon amperometrik HAC-NiO.....	56
Gambar 33. CV uji respon sensor scan rate GCE HAC-NiO	57
Gambar 34. CV uji respon CuO-NFs.....	58
Gambar 35. Respon amperometrik GCE modifikasi CuO-NFs.....	58
Gambar 36. CV uji respon sensor Cu@C NWs	60
Gambar 37. Respon amperometrik GCE modifikasi Cu@C NWs	60
Gambar 38. CV uji respon sensor Cu NWs	61
Gambar 39. Respon amperometrik GCE modifikasi Cu NWs	62
Gambar 40. CV uji respon Ni(OH) ₂	63
Gambar 41. Respon amperometrik GCE modifikasi RGO/Ni(OH) ₂	64
Gambar 42. CV uji respon dengan variasi scan rate RGO/Ni(OH) ₂	64
Gambar 43. (A) CV uji respon Cu ₂ O.....	65
Gambar 44. Respon amperometrik GCE modifikasi Cu ₂ O	66
Gambar 45. CV uji respon sensor scan rate GCE modifikasi Cu ₂ O	66

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Karakteristik Minimum Sensor Glukosa	3
Tabel 2. Kelebihan dan Kekurangan Teknologi CGM	13
Tabel 3. Kelebihan dan Kekurangan Berbagai Jenis Sensor	16
Tabel 4. Strategi Pencarian Literatur	42
Tabel 5. Kesimpulan Umum Penelitian	42
Tabel 6. Hasil Pengukuran Karakteristik Sensor Glukosa	65

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

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.

Pengembangan awal sensor glukosa untuk mengukur kadar gula darah telah dilakukan selama 40 tahun terakhir. Sensor glukosa pertama dikembangkan oleh Clark dan Lyons pada 1962 dengan alat pendeteksi glukosa berbasis enzimatik. 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 enzimatik. Pengukuran konsentrasi glukosa menggunakan metode enzimatik dipengaruhi oleh keberadaan maltosa dan galaktosa, sehingga membutuhkan kehati-hatian dalam melakukan pengukuran kadar glukosa jika penderita diabetes dalam kondisi mengonsumsi obat yang mengandung zat tersebut. Pengukuran glukosa

dalam darah dengan menggunakan metode enzimatis memiliki karakter yang tidak peka terhadap oksigen dan reaktif terhadap maltosa. Sehingga akan mengurangi sensitivitas dari sensor glukosa dan kesalahan pengukuran juga semakin besar. Oleh karena itu, dilakukan penelitian untuk mendapatkan hasil pengukuran yang akurat. Salah satu pengembangan yang telah ada saat ini adalah pengukuran kadar glukosa dalam darah dengan menggunakan metoda non-enzimatis, salah satunya dengan menggunakan material sensor dari bahan kimia organik (Dae-Woong Hwang, dkk, 2018).

Metoda non-enzimatis dikembangkan untuk meningkatkan kekurangan yang terdapat pada metode enzimatis. Sensor dengan menggunakan metoda non-enzimatis tidak mengandung unit fungsional biologis, hal ini dapat menyederhanakan komponen sensor glukosa juga meningkatkan kualitas dari sensor glukosa. Komponen sensor glukosa dengan menggunakan metode non-enzimatis yang sederhana akan mendukung sensor glukosa diproduksi dalam jumlah yang lebih banyak. Penelitian mengenai sensor glukosa non-enzimatis menemukan bahwa sensor ini bebas dari batasan oksigen. Keberadaan oksigen tidak mempengaruhi modulasi sinyal sensor, oksigen yang tinggi atau rendah menyebabkan penyimpangan dari sinyal yang diukur. Berdasarkan pada syarat kelayakan sebuah 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 kelayakan sebuah sensor glukosa yang diatur oleh ISO.

Tabel 1. Karakteristik Minimum Sensor Glukosa

Properti	Alasan dan/atau diperlukan respon minimum
Selektivitas	Harus selektif mendeteksi glukosa saja, meskipun diberi minimal gangguan dari sumber lain
Sensitivitas	$1\mu\text{A cm}^{-2} \text{ mM}^{-1}$ atau lebih besar untuk memperbaiki sensor enzimatik
Tidak ada ketergantungan oksigen	Ketergantungan pada oksigen merupakan masalah utama bagi sistem GOD (Glucose Oxidase)
Stabilitas	Stabil selama digunakan untuk pengukuran berulang dan memiliki masa hidup/pakai melebihi 6 bulan
Akurasi dan presisi	Harus memenuhi standar ISO dan error 20%, 95% dari waktu.
Biokompatibilitas	Khususnya untuk penggunaan in-vivo karena komponen biologis dan respon imun
Biaya Fabrikasi	Biaya fabrikasi dan biaya operasional harus lebih rendah.
Mudah Fabrikasi	Mudah difabrikasi yang dicetak pada layar strip elektroda enzimatik.

(Nanda F, dkk, 2017)

Pada penelitian ini dilakukan pengembangan sensor glukosa dengan menggunakan metoda non-enzimatik. Material sensor terlebih dahulu telah melalui tahapan sintesis dan karakterisasi untuk dapat dijadikan sebagai sensor glukosa. Penelitian ini memanfaatkan prinsip sensor elektrokimia, dimana sensor mampu menangkap fenomena kimia, baik gas maupun cairan yang kemudian dikonversikan menjadi sinyal listrik. Pada penelitian ini digunakan sensor elektrokimia dengan prinsip beda potensial antara elektroda referensi dan indikator elektroda yang diukur tanpa mempolarisasi sel elektrokimia, sehingga arus yang sangat kecil diperhitungkan. Elektroda referensi diperlukan untuk menyediakan potensial setengah sel konstan. Indikator elektroda mengembangkan variabel potensial tergantung pada aktivitas atau konsentrasi analit spesifik dalam larutan. Spesifikasi elektroda indikator dapat

mempengaruhi kualitas pengukuran. Bahan elektroda pada sensor glukosa non-enzimatik sangat menentukan kinerja sensor yang dihasilkan. Keberhasilan elektroda yang digunakan terletak pada kemampuannya dalam menyeleksi aktivitas ion secara spesifik dalam larutan. Oleh karena itu digunakan elektroda indikator dengan bahan *Glassy Carbon Elektrode* (GCE) pada penelitian ini.

Penelitian sensor non-enzimatik dengan menggunakan elektroda yang berbahan *glassy carbon* dapat mengurangi waktu preparasi, dan tidak dipengaruhi oleh keberadaan enzim dalam darah. Pada penelitian ini pengukuran dilakukan dengan menggunakan metode voltametri. Voltametri merupakan salah satu teknik elektroanalitik dengan prinsip dasar elektrolisis. Elektroanalisis merupakan suatu teknik yang berfokus pada hubungan antara besaran listrik dengan reaksi kimia.

Pentingnya pengukuran kadar glukosa dalam darah untuk mengontrol kadar gula darah dengan ketelitian yang tinggi menjadi latar belakang penelitian ini. Hal tersebut mendorong perlunya pengembangan sensor glukosa dalam darah manusia dengan metode non-enzimatik yang berbasis sensor elektrokimia. Pengembangan alat ukur glukosa dari sensor elektrokimia berbasis GCE dengan metode voltametri bertujuan untuk mendapatkan nilai akurasi yang tinggi dan mengurangi interferensi akibat enzim dan oksigen. Berdasarkan uraian tersebut maka dilakukanlah penelitian studi literatur untuk mengukur kadar glukosa dalam darah manusia dengan menggunakan sensor elektrokimia berbasis GCE dengan metode voltametri.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, maka dapat dirumuskan masalah penelitian adalah “Bagaimana perbandingan nilai spesifikasi desain sensor glukosa pada darah manusia dengan menggunakan sensor elektrokimia berbasis *Glassy Carbon Electrode* (GCE) dengan metode voltametri?”

C. Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih berfokus, maka perlu dilakukan beberapa batasan masalah dalam memilih artikel penelitian mengenai glukosa pada darah manusia dengan menggunakan sensor elektrokimia berbasis *Glassy Carbon Electrode* (GCE) dengan metode voltametri sebagai berikut;

1. Penelitian memuat data spesifikasi desain pada penelitian meliputi sensitivitas, *limit of detection* (LOD) dan *linier range* dari hasil pengukuran.
2. Penelitian menggunakan sampel glukosa dalam darah.
3. Penelitian menggunakan jenis elektrode kerja *Glassy Carbon Electrode* (GCE).

D. Tujuan Penelitian

Secara umum penelitian ini bertujuan untuk membandingkan dan melakukan analisis spesifikasi desain dari beberapa penelitian mengenai sensor glukosa pada darah manusia dengan menggunakan sensor elektrokimia berbasis *Glassy Carbon Electrode* (GCE) dengan metode voltametri.

E. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat pada:

1. Pengembangan alat, penelitian studi literatur dapat digunakan sebagai dasar untuk merancang sensor glukosa pada darah manusia menggunakan sensor elektrokimia berbasis GCE dengan metode voltametri.
2. Bidang kajian elektronika dan instrumentasi, berguna untuk pengembangan instrumentasi berbasis elektronika.
3. Pembaca, menambah wawasan dan pengetahuan tentang alat ukur glukosa pada darah manusia dengan menggunakan sensor elektrokimia berbasis GCE dengan metode voltametri.

BAB II

KERANGKA TEORITIS

A. Studi Literatur

Jadi penelitian kepustakaan adalah kegiatan penelitian dilakukan dengan cara mengumpulkan informasi dan data dengan bantuan berbagai macam material yang ada di perpustakaan seperti buku referensi, hasil penelitian sebelumnya yang sejenis, artikel, catatan, serta berbagai jurnal yang berkaitan dengan masalah yang ingin dipecahkan. Kegiatan dilakukan secara sistematis untuk mengumpulkan, mengolah, dan menyimpulkan data dengan menggunakan metode/teknik tertentu guna mencari jawaban atas permasalahan yang dihadapi.

1. Pengertian Studi Literatur Menurut Ahli

Ada beberapa definisi mengenai penelitian kepustakaan ini. Mirzaqon. T, dan Purwoko (2017) mengemukakan beberapa definisi penelitian kepustakaan dari beberapa ahli, yaitu :

- a) Penelitian kepustakaan merupakan suatu studi yang digunakan dalam mengumpulkan informasi dan data dengan bantuan berbagai macam material yang ada di perpustakaan seperti dokumen, buku, majalah, kisah-kisah sejarah, dsb (Mardalis: 1999).
- b) Penelitian kepustakaan adalah studi yang mempelajari berbagai buku referensi serta hasil penelitian sebelumnya yang sejenis yang berguna untuk mendapatkan landasan teori mengenai masalah yang akan diteliti (Sarwono: 2006).
- c) Penelitian kepustakaan adalah teknik pengumpulan data dengan melakukan penelaahan terhadap buku, literatur, catatan, serta berbagai laporan yang

berkaitan dengan masalah yang ingin dipecahkan (Nazir: 1988). Penelitian kepustakaan merupakan kajian teoritis, referensi serta literatur ilmiah lainnya yang berkaitan dengan budaya, nilai dan norma yang berkembang pada situasi sosial yang diteliti (Sugiyono: 2012).

2. Tahapan Penyusunan Studi Literatur

a) Menemukan literatur yang relevan

Sebelum melakukan pencarian sebuah literatur baik berupa buku maupun artikel penelitian, seorang peneliti harus menentukan sebuah topik yang jelas yang akan digunakan dalam penulisan literatur review. Seorang peneliti yang akan menulis atau menyusun sebuah tinjauan teori untuk sebuah penelitian, maka peneliti harus menemukan literatur yang terkait dengan masalah dan pertanyaan penelitian yang akan atau telah disusun. Seorang peneliti yang mencoba untuk menyusun literatur review sebagai suatu proyek yang berdiri sendiri, maka peneliti harus memilih fokus kajian yang akan digunakan dan mengembangkan pertanyaan untuk mengarahkan pencarian referensi yang akan digunakan. Tidak seperti pertanyaan penelitian pada umumnya, jenis pertanyaan ini harus dijawab tanpa mengumpulkan data asli. Dibutuhkan kemampuan dari seorang peneliti untuk menjawab suatu pertanyaan penelitian berdasarkan suatu penjabaran atau hasil publikasi ilmiah yang ada.

b) Melakukan evaluasi sumber literatur review

Tahap terpenting setelah mendapatkan berbagai referensi yang dapat dimanfaatkan dalam penyusunan literatur review adalah membaca setiap referensi yang didapatkan. Terkadang untuk membaca dengan detail setiap

referensi yang didapatkan adalah hal yang melelahkan bagi seorang peneliti. Untuk bisa mendapatkan setiap informasi yang dibutuhkan dalam penyusunan literatur review, peneliti harus melakukan evaluasi terhadap setiap referensi yang telah didapatkan kemudian korelasikan dengan pertanyaan penelitian yang telah disusun sebelumnya (Rowley & Slack, 2004).

Untuk meningkatkan kualitas pencarian dan kualitas untuk membaca referensi yang ditemukan, peneliti dapat menanyakan kepada diri sendiri terkait tentang :

- 1) Masalah apakah yang sebetulnya ingin diteliti dan selanjutnya disajikan dalam penyusunan literatur review?
- 2) Apakah konsep utama yang ingin dibahas atau didalami oleh peneliti dan bagaimana setiap konsep ini nantinya akan didefinisikan?
- 3) Apakah teori, model dan metode utama yang digunakan oleh peneliti dalam melakukan penyusunan literatur review?
- 4) Apakah literatur review disusun menggunakan kerangka kerja yang sudah ada atau menggunakan pendekatan inovasi?
- 5) Apakah hasil dan kesimpulan dari literatur review yang akan disusun nantinya?
- 6) Bagaimanakah kaitan antara literatur review yang akan disusun dengan artikel ilmiah yang telah dipublikasikan dan bagaimana kaitan antara literatur review dengan kondisi yang ada di lapangan?
- 7) Seperti apakah informasi yang akan disajikan dalam literatur review dan apakah argumen yang mendasari informasi tersebut?

- 8) Apakah kekuatan dan kelemahan dari literatur review yang sedang anda susun saat ini?

B. Tinjauan Spesifikasi

Sistem pengukuran dirancang untuk memenuhi spesifikasi tertentu. Spesifikasi merupakan pendiskripsian secara mendetail tentang produk hasil penelitian. Menurut (Ilham, 2009) “Spesifikasi adalah ukuran (metrik) dan nilai dari ukuran tersebut (nilai matrik)”. Secara umum spesifikasi digolongkan atas dua tipe yaitu spesifikasi performansi dan spesifikasi desain.

1. Spesifikasi Performansi

Spesifikasi performansi mengidentifikasi fungsi-fungsi dari setiap komponen pembentuk sistem. Spesifikasi performansi biasa disebut juga dengan spesifikasi fungsional. Spesifikasi performansi merupakan suatu proses membuat spesifikasi kerja yang akurat dari rancangan yang diperlukan. Spesifikasi performansi yang meliputi kualitas dan kuantitas pembentuk sistem dapat memberikan kemudahan dalam penggunaannya (Bakri, 2010).

Untuk mengetahui spesifikasi performansi suatu sistem dapat dilakukan pengamatan dan pengukuran terhadap sistem tersebut. Pengamatan dilakukan terhadap sistem secara keseluruhan, misalnya memotret komponen-komponen yang digunakan, mengukur panjang dan lebar alat untuk mengetahui dimensi sistem, atau mengukur besar input yang diberikan oleh sistem. Sehingga dengan demikian dapat dijelaskan secara rinci spesifikasi performansi dari sistem.

2. Spesifikasi Desain

Spesifikasi desain sering juga disebut sebagai spesifikasi produk.

Spesifikasi produk adalah metrik dan nilai yang harus dicapai oleh sebuah produk dan bukan bagaimana produk harus bekerja (Ilham, 2009). Spesifikasi desain tergantung pada sifat alami dari material yang digunakan. Spesifikasi desain menjelaskan tentang karakteristik statik produk, toleransi, bahan pembentuk sistem, ukuran sistem, dan dimensi sistem. Karakteristik statik suatu sistem meliputi akurasi, presisi, resolusi, dan sensitivitas.

Akurasi merupakan kedekatan (*closeness*) nilai yang terbaca pada alat ukur yang sebenarnya. Akurasi ditentukan dengan cara mengkalibrasi sistem pada suatu kondisi operasi tertentu. Sistem yang baik memiliki akurasi 100%. Presisi didefinisikan sebagai kemampuan suatu alat ukur untuk menghasilkan nilai yang sama pada pengukuran berulang. Presisi ditentukan melalui percobaan berulang, menggunakan sistem yang sama terhadap objek yang sama pada suatu besaran yang sama. Resolusi, yaitu perubahan terkecil yang dapat diukur pada instrumen atau tanggapan respon terkecil dari instrumen. Sensitivitas, yaitu kepekaan instrumen terhadap implus yang diberikan (Fraden, 2003).

Pada penelitian ini besaran spesifikasi desain yang diukur adalah sensitivitas, *Limit of Detection* (LoD), dan *Linier Range*.

a. *Limit of Detection* (LoD)

Limit Deteksi (LoD) adalah konsentrasi atau jumlah terkecil/terendah dari analit dalam sampel yang dapat terdeteksi, tetapi tidak perlu terkuantisasi sehingga nilai yang dihasilkan tidak harus memenuhi 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}).

Limit deteksi (LoD) merupakan parameter uji batas terkecil yang dimiliki oleh suatu alat/instrumen. Limit Kuantisasi (LoQ) adalah konsentrasi atau jumlah terendah dari analit yang masih dapat ditentukan dan memenuhi kriteria akurasi dan presisi. Limit kuantisasi biasa disebut limit pelaporan (*limit of reporting*).

Penentuan nilai limit deteksi dan kuantisasi tergantung pada analisis yang dilakukan menggunakan alat/instrumen atau tidak menggunakan instrumen. Apabila kegiatan analisis dilakukan tidak menggunakan instrumen maka limit deteksi dan kuantisasi ditentukan dengan mendeteksi analit dalam sampel dengan pengenceran secara bertingkat. Apabila kegiatan analisis dilakukan menggunakan alat/instrumen maka limit deteksi dan kuantisasi ditentukan dengan mengukur respon blanko beberapa kali (minimal 7 kali pengukuran/analisis) selanjutnya ditentukan simpangan baku respon blanko. Nilai limit deteksi dan kuantisasi dapat ditentukan dengan persamaan.

$$LoD = A + 3 SD$$

$$LoQ = A + 10 SD$$

Dimana:

LoD = Limit Deteksi

LoQ = Limit Kuantisasi

A = Nilai rata-rata hasil analisis blanko

SD = Standar Deviasi (simpangan baku) hasil analisis blanko

(Torowati et al., 2014)

b. Sensitivitas

Menurut Ingle dan Crouch (1988), sensitivitas dinyatakan sebagai slope dari grafik yang diperoleh dengan range tertentu. Sensitivitas merupakan ratio perubahan sinyal tiap unit perubahan konsentrasi analit (Kateman dan Buydens, 1993). Sensitivitas dapat dinyatakan sebagai slope dari kurva yang diperoleh dengan range tertentu (Miller dan Miller, 1991). Hal ini sesuai dengan aturan IUPAC, bahwa sensitivitas yang dinyatakan dengan slope merupakan sensitivitas kurva. Nilai sensitivitas yang besar berarti bahwa perubahan konsentrasi yang kecil dari analit dapat memberikan respon yang berarti. Sensitivitas dari sensor ini dapat ditentukan dengan pengukuran dari sinyal sensor (arus reduksi) yang diperoleh dari konsentrasi analit yang sudah ditentukan.

c. Linier Range

Linier range merupakan daerah (*range*) dimana kurva respon yang linier terhadap slope yang diperoleh. Linear range dapat digambarkan dari kurva kalibrasi dengan memplotkan antara sumbu x dan y, dimana sumbu x adalah konsentrasi nitrous oksida dan sumbu y adalah arus yang dihasilkan. Respon yang linier ditunjukkan melalui persamaan garis sebagai berikut:

$$y = bx + a$$

Dimana:

b = slope atau kemiringan dari kurva kalibrasi

a = intersep atau perpotongan terhadap sumbu y

(Caulcutt dan Boddy, 1983)

C. Alat Ukur Glukosa

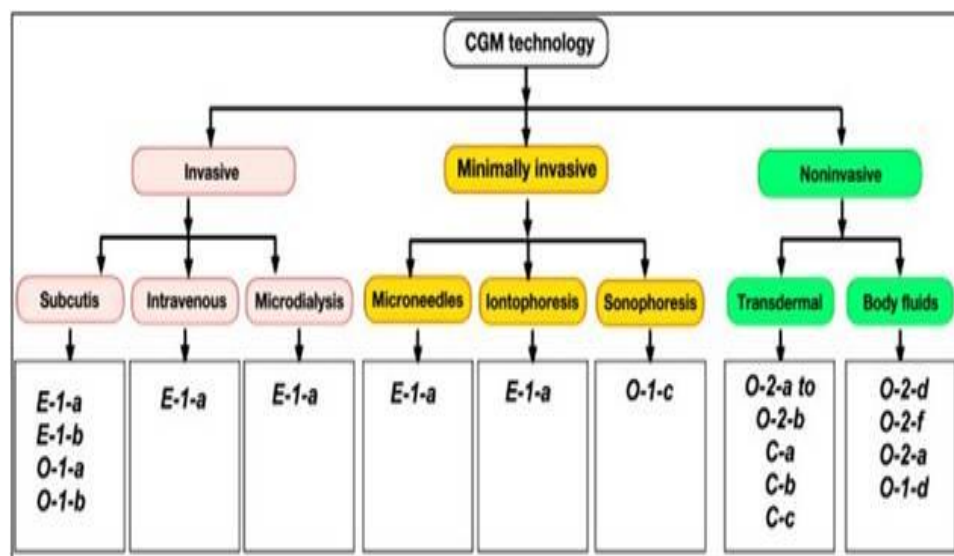
Penyakit diabetes merupakan penyakit yang mengganggu produksi insulin pada manusia, bagi penderita diabetes kadar glukosa dalam darah perlu untuk dimonitoring secara berkala. Caranya adalah dengan menggunakan alat ukur glukosa. Salah satu pengembangan alat ukur glukosa adalah dengan menggunakan *Continuous Glucose Monitoring System* (CGMS).

CGMS merupakan suatu sistem yang telah diteliti pada tahun 1999 yang mana digunakan oleh para tenaga kesehatan profesional. Sistem ini dibuat untuk dapat mengukur konsentrasi kadar gula darah melalui metrik untuk upaya dalam manajemen diabetes melitus. CGMS bergantung pada reaksi oksidasi glukosa yang mana perangkat ini menggunakan elektroda platinum yang diendapkan pada jarum yang dimasukkan ke dalam jaringan kulit untuk menyalakan dan mengkatalisasi oksidasi glukosa dan alat akan membaca konsentrasi glukosa melalui proses kalibrasi. Pengenalan CGMS pada tahun 1999 diperuntukan agar dapat melakukan pemantauan konsentrasi glukosa darah pada penderita diabetes dalam manajemen harian. Sensor CGMS memberikan data glukosa yang hampir terus menerus memberikan hasil nilai kadar glukosa setiap 1 hingga 5 menit dan dapat meningkatkan informasi tentang fluktuasi yang mana CGMS dapat mengungkapkan kejadian hipoglikemik dan hiperglikemik. (Amalian dan Herawati, 2020)

Penderita diabetes tipe 1 disarankan untuk menggunakan CGMS karena efektif untuk mengontrol kadar gula darah. Efektivitas tersebut meliputi hasil pemeriksaan bersifat real time, menampilkan data konsentrasi glukosa, dan laju

perubahan glukosa dalam darah. Dengan data tersebut pasien diabetes tipe 1 dapat mengontrol dosis insulin dalam tubuh. CGMS membantu dokter dalam mengoptimalkan rencana perawatan dan memfasilitasi keputusan klinis dalam keadaan darurat untuk pasien diabetes. (Joseph dan DO, 2020)

Perangkat CGMS biasanya terdiri dari sensor glukosa yang memiliki peran penting dalam pengukuran fisiologis kadar gula darah, kemudian terdapat pemrosesan elektronik yang berkomunikasi secara kabel atau nirkabel dengan sensor glukosa, terakhir adalah unit tampilan data. Teknologi *Continuous Glucose Monitoring* (CGM) memiliki perbedaan prinsip kerja berdasarkan penempatan sensor glukosa dan komunikasinya dengan pemrosesan elektronik yang menentukan tingkat invasif dari CGM. Pada Gambar 1 menampilkan klasifikasi dari teknologi CGM:



Gambar 1. Prinsip kerja teknologi CGM

Pada Gambar 1 ditampilkan bagan prinsip kerja dari teknologi CGM. Teknologi CGM dibagi atas sensor invasif, sensor invasif minimal, dan sensor non-invasif. Masing-masing jenis sensor tersebut memiliki kekurangan dan

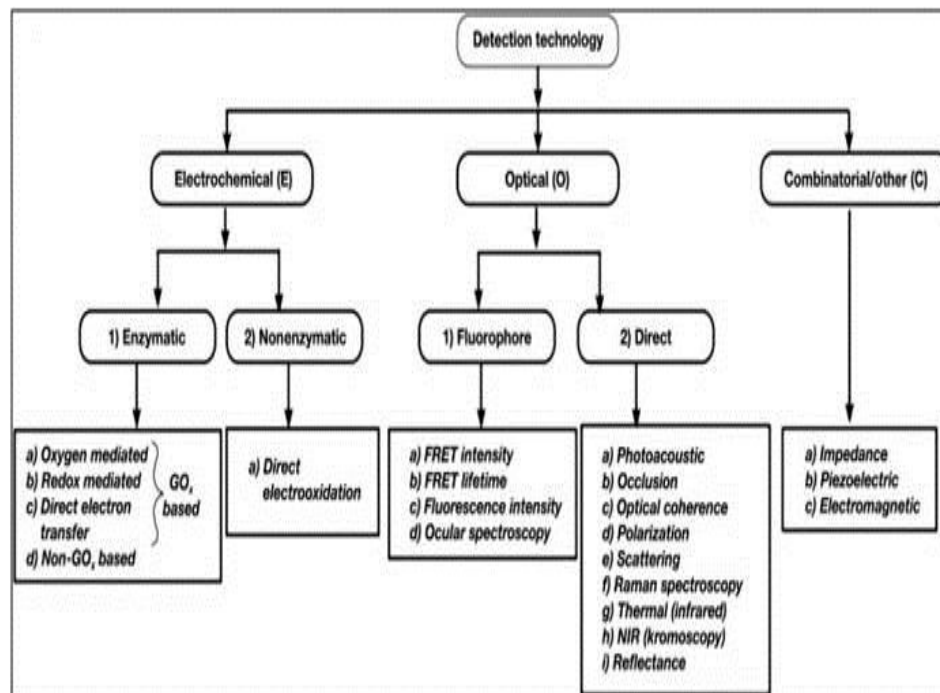
kelebihan yang berbeda. Uraian mengenai perbedaan kualitas baik dari segi kelebihan ataupun kekurangan dari CGM ditampilkan pada tabel 2.

Tabel 2. Kelebihan dan Kekurangan Teknologi CGM

	Jenis	Kelebihan	Kekurangan
Invasif	SC	1. Tidak membuat luka 2. Tidak ada variabilitas subjek ke subjek 3. Mudah untuk implantasi 4. Nyaman digunakan	1. Kalibrasi tidak akurat 2. Dipengaruhi benda asing 3. Kesulitan dalam ekstrasi
	Intravenous	1. Tidak membuat luka 2. Tidak ada variabilitas subjek ke subjek 3. Mudah beradaptasi	1. Dipengaruhi benda asing 2. Kesulitan ekstrasi
	Microdalysis	1. Sensor berada diluar dan terbebas dari benda asing 2. Tidak ada variabilitas subjek ke subjek	1. Membuat luka 2. Kalibrasi tidak akurat 3. Waktu respon lama
	Transcutaneous	1. Tidak ada variabilitas subjek ke subjek 2. Tidak ada migrasi sensor 3. Proses ekstrasi mudah	1. Membuat luka 2. Dipengaruhi respon benda asing 3. Kalibrasi tidak akurat
Minimal Invasif	Micropores	Tidak ada kalibrasi sehingga akurasi tidak mempengaruhi	1. Menimbulkan luka yang dapat menyebabkan infeksi 2. Biaya produksi mahal
	Iontophoresis	1. Tidak membuat luka	1. Waktu yang dibutuhkan

		2. Tidak ada pengaruh oksigen 3. Lebih sedikit	lebih lama 2. Kalibrasi tidak akurat 3. Dipengaruhi oleh keringat 4. Dapat menyebabkan eritema kulit
	Sonophoresis	Tidak membuat luka	1. Tidak terdapat variabilitas subjek ke subjek 2. Kalibrasi tidak akurat
Non-Invasif	Transdermal	1. Tidak memberikan rasa sakit 2. Mudah digunakan	1. Dipengaruhi pigmentasi warna kulit 2. Tidak spesifik terhadap glukosa 3. Dipengaruhi suhu
	Body Fluid	1. Tidak memberikan rasa sakit 2. Mudah digunakan	1. Tidak akurat 2. Nonspesifik terhadap glukosa

Sensor glukosa pada CGM dibuat dengan menggunakan bahan dan prinsip kerja yang berbeda. Perbedaan mengenai bahan dan prinsip kerja dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Klasifikasi jenis sensor pada teknologi CGM

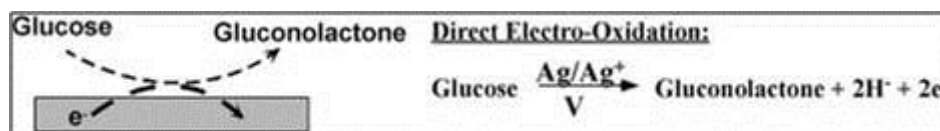
Masing-masing teknologi CGM menggunakan pendekatan dengan prinsip ilmiah berbeda dan memiliki kelebihan dan kekurangan. Pada penelitian yang dilakukan berfokus pada prinsip elektrokimia. Uraian mengenai kelebihan dan kekurangan untuk sensor dengan prinsip elektrokimia dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Kelebihan dan Kekurangan Berbagai Jenis Sensor

Jenis Sensor			Kelebihan	Kekurangan
Elektrokimia	Enzimatis	Generasi pertama	1. Sangat spesifik untuk glukosa 2. Sensitivitas sensor tinggi	1. Gangguan dari Cosubstrat 2. Harus menggunakan membrane luar 3. Dibutuhkan penggunaan spesifik
		Generasi kedua	1. Sangat spesifik untuk glukosa 2. Sensor	1. Mediator yang digunakan belum teruji 2. Hasil

			bebas dari gangguan	dipengaruhi mediator dan oksigen
		Generasi ketiga	1. Sangat spesifik untuk glukosa 2. Sensor bebas dari gangguan	1. Nanomaterial belum teruji 2. Pengulangan belum teruji
		Non-GOx	Tidak ada gangguan dari oksigen	Menampilkan oksidasi gula lain
	Non-enzimatis		Tidak dipengaruhi enzim dan tidak terjadi degradasi	1. Tidak spesifik untuk glukosa 2. Pengotoran elektroda

Sensor glukosa mendeteksi melalui pendekatan elektrokimia dikategorikan menjadi pendekatan secara enzimatik dan pendekatan secara nonenzimatik. Pendekatan secara non enzimatik melibatkan oksidasi elektro secara langsung dari glukosa menjadi glukonat pada struktur nano elektroda. Molekul kimia yang dapat digunakan sebagai sensor elektrokimia adalah platinum, platinum alloys, emas, rhodium, dan timbal. Reaksi kimia dari proses non enzimatik dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Reaksi kimia dari proses non-enzimatik

Metoda non-enzimatik dikembangkan untuk meningkatkan kekurangan yang terdapat pada metode enzimatik. Sensor dengan menggunakan metoda non-enzimatik tidak mengandung unit fungsional biologis, hal ini dapat

menyederhanakan komponen sensor glukosa juga meningkatkan kualitas dari sensor glukosa. Komponen sensor glukosa dengan menggunakan metode non-enzimatik yang sederhana akan mendukung sensor glukosa diproduksi dalam jumlah yang lebih banyak. Penelitian mengenai sensor glukosa non-enzimatik menemukan bahwa sensor ini bebas dari batasan oksigen. Keberadaan oksigen dapat mempengaruhi modulasi sinyal sensor, oksigen yang tinggi atau rendah menyebabkan penyimpangan dari sinyal yang diukur.

D. Sintesis Anorganik

Pengertian sintesis menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI versi online) merupakan reaksi kimia antara dua atau lebih zat yang membentuk suatu zat baru. Sintesis material anorganik sangat banyak digunakan untuk menghasilkan bahan material dalam bidang teknologi modern. Adapun contoh peralatan teknologi modern yang berasal dari bahan material anorganik diantaranya baterai laptop, baterai handphone, prosesor komputer, panel sel surya dan kapasitor. Bahan-bahan material ini disintesis dengan menggunakan peralatan yang modern.

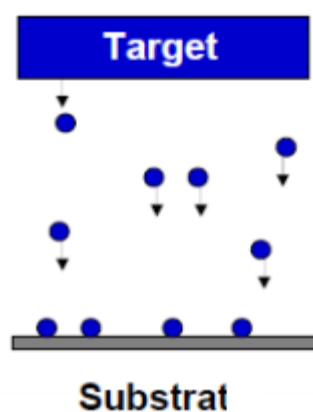
Riset teknologi dunia saat ini mengacu pada sintesis material dalam skala nano, yang memiliki sifat kebaruan yang tinggi (novelty). Aplikasi nanomaterial sangat banyak dalam kehidupan yaitu dalam bidang biologi/bioteknologi, peralatan elektronik, kimia, pertanian, kesehatan/kedokteran, pertanian serta industri obat dan makanan. Salah satu metode yang digunakan dalam bidang elektronik adalah metode *top-down* yakni pembuatan komponen dan material penyusunnya dalam skala nano dengan menggunakan material awal yang besar

menjadi yang lebih kecil. Adapun metode lain yang juga dapat digunakan, berikut ini beberapa metode sintesis anorganik

1. *Physical Vapor Deposition (PVD)*

Proses deposisi material secara langsung menggunakan fasa uap (*Physical Vapor Deposition*) terdiri atas beberapa metode di antaranya: evaporasi, sputtering, dan ion plating. Pada dasarnya pemilihan material lapisan dapat berupa logam, alloy, semikonduktor, oksida logam, karbida, nitrida, cermet, sulfida, selenida, telurida dan lain-lain.

Teknik PVD adalah suatu metode pelapisan teknologi modern. Teknik ini dilakukan dengan cara menguapkan bahan pelapis secara fisik atau mekanik dan mengembunkan pada material yang akan dilapisi (substrat) pada suhu tertentu dalam kondisi vakum. Pelapisan tersebut dapat menempel dengan kuat serta mampu tersubstitusi dengan atom pada permukaan substrat. Proses tersebut digambarkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Metode PVD

Ada empat kelemahan metoda PVD, yaitu (1) laju deposisinya relatif rendah, (2) ketebalan film relatif kurang bagus, (3) prosesnya menggunakan

teknologi tinggi (vakum), dan (4) proses coatingnya sangat sulit.

Metode PVD dapat diaplikasikan (1) dalam pembuatan lapisan tipis (thin film), seperti dalam bidang optikal, bidang optoelektronik, bidang peralatan magnetik, dan peralatan microelectronic, (2) dalam bidang tribology, (3) untuk proteksi korosi, (4) thermal insulation, dan (5) lapisan dekorasi

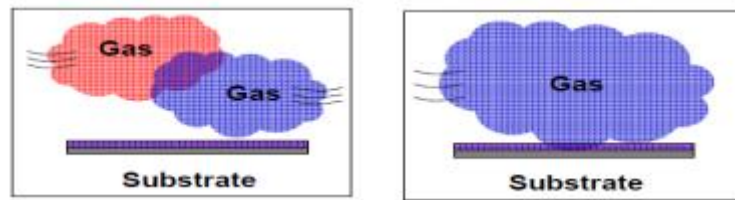
Metode PVD dapat digunakan untuk pembuatan material dimana substratnya dapat dilapisi dengan logam, alloy, keramik, kaca, polimer dan lain-lain. Metode PVD banyak digunakan dalam pembuatan material dekoratif dengan menggunakan plastik dan logam. Metode deposisi dengan teknik PVD dapat menghasilkan lapisan antirefleksi dari penggunaan magnesium florida (MgF_2) pada lensa optik. Proses PVD juga sangat banyak diaplikasikan dalam industri elektronik, dimana mampu membentuk jaringan yang dapat mengantarkan arus listrik (electricity conductor) dalam rangkaian yang kompleks

2. Chemical Vapor Deposition (CVD)

CVD adalah suatu proses dimana sebuah material padat dideposisi dari fasa uap dengan reaksi kimia yang terjadi pada atau dalam permukaan substrat. Material padat didapatkan sebagai hasil sebuah lapisan (*coating*), sebuah bubuk atau sebagai kristal tunggal. Dengan memvariasikan kondisi eksperimen berupa substrat material, temperatur substrat, komposisi campuran gas yang bereaksi, dan tekanan total gas alir.

CVD sangat banyak diaplikasikan dalam teknologi pembuatan material. Mayoritas aplikasi ini yakni melibatkan koting atau pelapisan padatan pada permukaan. Aplikasi lain dari CVD adalah untuk menghasilkan material

bongkahan (bulk material) dengan kemurnian tinggi dan powder atau bubuk.



Gambar 5. Proses CVD

Metode CVD memiliki empat keunggulan, yaitu (1) laju pertumbuhannya tinggi, (2) distribusinya seragam (homogen), (3) reproduksibilitasnya bagus, dan (4) material yang telah terdeposisi sulit untuk menguap. Selain keunggulan tersebut, metode CVD juga mempunyai kelemahan. Kelemahan metode CVD, yaitu (1) membutuhkan peralatan yang kompleks dan kondisi vakum, (2) menggunakan gas hidrogen, (3) material dasar kebanyakan bersifat racun (hidrida dan karbonil terutama arsen), (4) mudah bereaksi dengan udara terbuka, (5) biayanya mahal untuk senyawa dengan kemurnian yang tinggi.

Perbandingan metode PVD dengan metode CVD adalah sebagai berikut ini.

- a. CVD adalah metode yang lebih konformal dan dapat digunakan untuk proses *batch*.
- b. Resiko CVD lebih tinggi dan menggunakan gas yang harganya tinggi.
- c. CVD adalah metode deposisi yang digunakan untuk material dielektrik dan dapat digunakan untuk logam.
- d. Proses CVD sangat sulit dengan cara mengkombinasikan atau menggabungkan reaksi kimia dan kinetika gas

3. Metode *Solvothermal*

Reaksi *solvothermal* pada umumnya dipengaruhi oleh parameter kimia yakni sifat reagen dan pelarut. Selain itu, parameter termodinamika juga sangat

berpengaruh yaitu berupa suhu dan tekanan. Pemilihan komposisi pelarut mengakibatkan berkembangnya material alloy, oksida, nitrida, dan sulfida. Kondisi temperatur sedang secara umum digunakan untuk meningkatkan difusi kimia dan reaktivitas yang bertujuan untuk membantu pembuatan material anorganik (oksida-nitrida, nitrida-halida) atau kerangka anorganik/organik, dan anorganik/biologi. Kondisi tekanan yang tinggi mengakibatkan energi yang digunakan kecildibandingkan dengan suhu. Metode itu sangat banyak diaplikasikan untuk pembuatan material di industri karena memiliki sifat kimia, fisika, dan biologi.

Proses *solvothermal* dapat diartikan sebagai reaksi kimia dalam sistem tertutup dengan adanya pelarut (*aqueous* dan *nonaqueous solution*) pada temperatur lebih tinggi dari titik didih pelarut. Metode *solvothermal* melibatkan tekanan yang tinggi. Temperatur yang dipilih sub atau superkritis tergantung pada reaksi yang terjadi untuk mendapatkan material target. aksi dalam Metode *Solvothermal*

Ada lima reaksi yang dilibatkan dalam metode *solvothermal*. Kelima reaksi yang dimaksud, yaitu (1) oksidasi-reduksi, (2) hidrolisis, (3) *thermolisis*, (4) pembentukan kompleks, dan (5) reaksi *metathesis*.

4. Sintesis Hidrotermal

Sintesis hidrotermal banyak diaplikasikan untuk pembuatan oksida. Sintesis oksida logam pada kondisi hidrotermal dapat terjadi dengan dua tahap. Tahap pertama yaitu hidrolisis dari larutan garam menghasilkan logam hidroksida. Selama tahap kedua hidroksida akan terhidrasi menghasilkan oksida logam yang

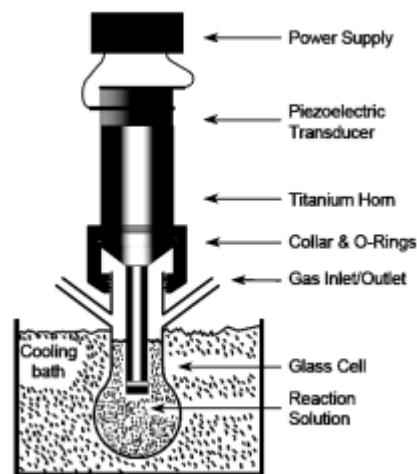
diinginkan. Laju reaksinya adalah sebagai fungsi temperatur, konstanta dielektrik pelarut. Pada kasus penggunaan pelarut menggunakan larutan berair (aqueous) telah dikembangkan metode hydrothermal. Metode hidrotermal digunakan untuk ekstraksi mineral, sintesis material geologi, sintesis material novel dan pertumbuhan kristal, deposisi larutan film. Air merupakan pelarut yang cocok melarutkan untuk senyawa ionik. Air dapat melarutkan senyawa ionik pada tekanan dan suhu yang tinggi. Dalam sintesis hidrotermal, penggunaan air sangat efektif untuk mendapatkan oksida logam yang berbentuk powder atau bubuk yang bagus. Pada kondisi hidrotermal air berperan sebagai medium transmisi tekanan dan sebagai pelarut untuk prekursor. *Autoclave* digunakan dalam sintesis material dengan teknik hidrotermal, tekanan dipertahankan dengan rentangan 10–150 kilobar yang bergantung pada pemilihan temperatur air (373 K). Bubuk yang dihasilkan bisa memiliki bentuk amorf atau kristal. Hal itu tergantung pada kondisi hidrotermal. Reaksi hidrotermal digunakan dalam bidang kimia material atau material sains untuk pengembangan proses lunak dari material anorganik lanjutan atau pembentukan keramik. Kelebihan dan Kelemahan Metode Hidrotermal

Ada tiga kelebihan metode hidrotermal, yaitu (1) terbentuk powder secara langsung dari larutan, (2) ukuran partikel dan bentuknya dapat dikontrol dengan menggunakan material awal dan kondisi hidrotermal yang berbeda, dan (3) kereaktifan bubuk yang dihasilkan tinggi. Selain kelebihan itu, metode hidrotermal juga memiliki kelemahan. Ada tiga kelemahan metode hidrotermal, yaitu (1) solubilitas material awal harus diketahui, (2) slurry hydrothermal

bersifat korosif, dan (3) penggunaan bejana tekanan yang tinggi akan berbahaya jika terjadi kecelakaan.

5. Metode Sonokimia

Metode sonokimia merupakan metode sintesis material menggunakan energi suara untuk mendorong terjadinya perubahan fisika dan kimia dalam medium cairan. Sonokimia menggunakan aplikasi ultrasonik dalam reaksi kimia. Ultrasonik memiliki rentang frekuensi antara 20 kHz-10 MHz. Ultrasonik dapat dibagi atas tiga, yaitu frekuensi rendah, ultrasonik berkekuatan tinggi (20–100 kHz); frekuensi sedang (kekuatan ultrasonik sedang, 100kHz–2MHz), dan frekuensi tinggi (kekuatan ultrasonik rendah (2–10 MHz)). Frekuensi yang mempunyai rentangan 20 kHz –2 MHz yang digunakan dalam proses sonokimia. Proses sonokimia dilakukan dengan menggunakan alat seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Bagian alat sonokimia

Metode sonokimia merupakan metode sintesis kimia menggunakan ultrasound. Dalam proses itu menggunakan gelombang suara sebagai sumber energi. Metode sonokimia secara luas digunakan untuk sintesis material novel

(material baru) yang memiliki sifat yang bagus. Metode ini menghasilkan material dengan ukuran yang lebih kecil dan luas permukaan yang tinggi. Efek kimia dari ultrasound menghasilkan kavitas akustik, yaitu terjadinya pembentukan dan pertumbuhan busa pada cairan.

E. Sensor Elektrokimia

Sensor glukosa pada darah manusia menggunakan prinsip dasar sensor elektrokimia, yaitu dengan menangkap peristiwa secara kimiawi kemudian dikonversi menjadi besaran listrik. Material sensor elektrokimia bekerja dengan mendeteksi perubahan susunan ion-ion dari gas, air maupun objeklainnya. Material sensor elektrokimia dikembangkan dengan melakukan sintesis dan karakterisasi terlebih dahulu untuk mengetahui susunan kimiawi material sensor yang dihasilkan.

Sensor kimia adalah alat yang mampu menangkap fenomena berupa zat kimia (baik gas maupun cairan) untuk kemudian diubah menjadi sinyal elektrik. Berdasarkan teknologi yang digunakan untuk mengubah zat kimia yang dideteksi menjadi sinyal elektrik, terdapat beberapa jenis sensor yaitu jenis sensor optik, sensor elektrokimia, sensor elektrik, dan sensor sensitif berat. Karakteristik sensor ditentukan dari sejauh mana sensor tersebut memiliki kemampuan yang baik dalam mengenali zat yang ingin dideteksinya. Kemampuan mendeteksi zat tersebut meliputi: sensitivitas, selektivitas, waktu respon dan *recovery*, stabilitas dan daya tahan.

Bila berbicara kegunaan sensor elektrokimia pada bidang medis, pada umumnya penggunaan sensor terbagi menjadi tiga, yaitu:

1. Potensiometrik

Pengukuran potensiometri pada penerapan medis menggunakan prinsip beda potensial antara elektroda referensi dan indikator elektroda yang diukur tanpa mempolarisasi sel elektrokimia, sehingga arus yang sangat kecil diperhitungkan. Elektroda referensi diperlukan untuk menyediakan potensial setengah sel konstan. Indikator elektroda mengembangkan variabel potensial tergantung pada aktivitas atau konsentrasi analit spesifik dalam larutan.

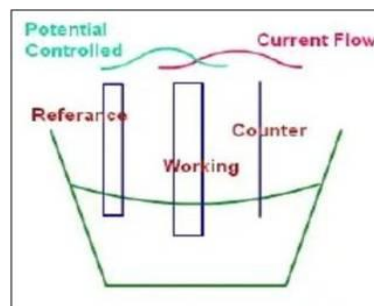
Perubahan potensial berkaitan dengan konsentrasi secara logaritmik. Persamaan Nernst menghubungkan perbedaan potensial pada antarmuka dengan aktivitas spesi i pada fase sampel (s) dan pada fase elektroda (β). *Ion-Selective Electrode* (ISE) untuk pengukuran elektrolit merupakan sensor potensiometri yang umum digunakan.

Sensor potensiometrik terdiri atas membran dengan komposit yang unik, dengan catatan bahwa membran dapat berupa kristal padat (yaitu kaca, kristal anorganik) atau plasticized-polimer, dan komposisi ISE dipilih bertujuan untuk memberikan potensial yang pada dasarnya terkait mengenai ion melalui proses pengikatan selektif pada antarmuka elektrolit-membran.

2. Amperometrik

Pada amperometrik digunakan suatu wadah tertentu yang terdiri dari 3 elektroda yaitu elektroda referensi, mikroelektroda, dan elektroda *counter* (*auxiliary*). Mikroelektroda pada amperometrik tidak bereaksi, akan tetapi merespon elektroda aktif apa saja yang ada dalam sampel. Pemilihan elektroda

bergantung pada besarnya range potensial yang diinginkan untuk menguji sampel. Elektroda kerja biasanya dibuat dari logam seperti platinum (Pt) atau emas (Au). Elektroda referensi, biasanya dibuat dari material kimia Ag/AgCl. Elektroda ketiga, elektroda *counter* (*auxiliary*) terkadang disertakan. Susunan elektroda pada pengukuran sensor amperometrik dapat dilihat pada Gambar 7.

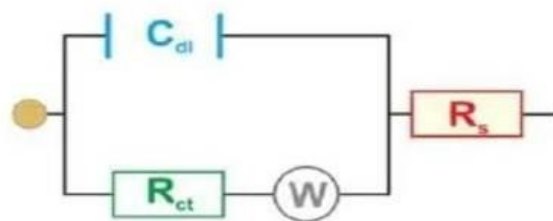


Gambar 7. Elektroda sensor potensiometrik

3. Impedimetrik

Sensor berbasis impedansi memiliki desain yang serupa dengan sensor jenis potensial campuran. Alih-alih mengukur voltase, tegangan sinusoidal diterapkan dan arus yang dihasilkan diukur. Impedansi kemudian dihitung sebagai rasio tegangan terhadap arus pada domain frekuensi. Dengan menggunakan gangguan gelombang sinus amplitudo kecil, linearitas pada sistem elektrokimia dapat diasumsikan, sehingga memungkinkan analisis frekuensi. Konstruksi sensor lapisan demi lapisan biasanya terdiri dari permukaan elektroda yang difungsikan (misalnya menggunakan polimer atau monolayer yang dirakit sendiri) untuk memungkinkan pelekatan bioreseptor, termasuk antibodi, setengah antibodi, protein pengikat tiruan, aptamer asam nukleat, dan bakteriofag. Sebagian besar sistem berbasis impedansi menggunakan mediator elektron, misalnya ferri/ferrocyanide $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3/4}$ untuk memantau resistansi transfer muatan.

Diagramnya tidak berskala, namun Sirkuit Randles menggambarkan komponen sistem berupa kapasitansi lapisan ganda (C_{dl}), resistansi transfer muatan (R_{ct}), resistansi solusi (R_s), dan impedansi Warburg (W). Impedansi Warburg diamati hanya pada beberapa sistem pada tingkat frekuensi rendah. Nyquist plot yang menunjukkan fitur dari sirkuit Randles. Sehingga perubahan impedansi akibat interaksi analit-permukaan sebanding dengan konsentrasi analit. Prinsip kerja dari sensor impedimetrik dapat diamati pada gambar 8.



Gambar 8. Prinsip kerja sensor impedimetrik

Aplikasi sensor elektrokimia pada bidang medis cukup banyak, bahkan hampir ada pada setiap bagian alat yang kontak langsung dengan tubuh, antara lain:

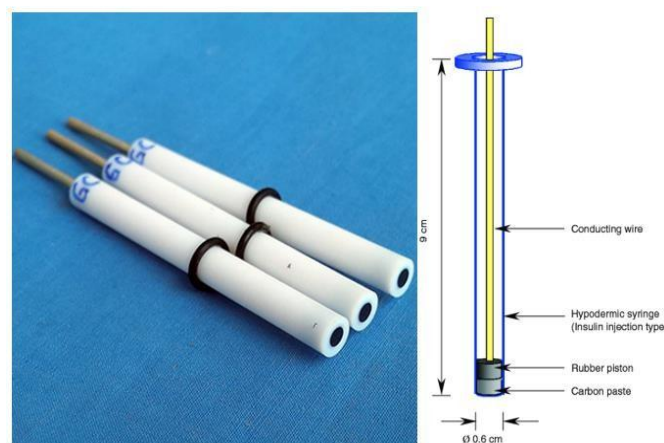
- a) Sensor Glukosa
- b) Sensor kolesterol
- c) Sensor DNA

Sensor elektrokimia sebagai sensor glukosa pada manusia memiliki cara kerja dengan merubah ikatan kimiawi dari hasil sintesis. Hasil sintesis menghasilkan material sensor yang dapat digunakan untuk mengukur kadar gula darah pada manusia dengan menggunakan elektroda.

F. *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. Baru-baru ini, bahan karbon digunakan sebagai elektrokatalis untuk oksidasi air, yang merupakan Reaksi Evolusi Oksigen (OER), terlepas dari karbon korosi pada kondisi oksidatif. Salah satunya dikembangkan pada *Glassy Carbon Electrode* (GCE). Struktur dan bentuk GCE dapat diamati pada Gambar 9.



Gambar 9. *Glassy Carbon Electrode* (GCE)

Glassy Carbon (GC) adalah jenis karbon non-grafit yang dibentuk oleh pirolisis prekursor polimer tertentu. Struktur mikro GC adalah terdiri dari fragmen diskrit bidang karbon melengkung, seperti tidak sempurna. GC disintesis pada suhu tinggi di atas 2000°C. *Glassy Carbon* menunjukkan jaringan molekul pita seperti grafit bertumpuk. Jaringan bidang karbon acak dan kusut membentuk struktur karbon padat. Karena reaktivitas rendah, kekerasan tinggi, impermeabilitas dan konduktivitas listrik yang baik dari GC, umumnya digunakan sebagai elektroda bahan untuk elektroanalisis. Selain itu juga sering

digunakan sebagai substrat untuk memasukkan katalis bubuk dalam mengevaluasi kinerja katalitik dalam reaksi elektrokimia. Namun, pada potensi anodik yang tinggi dapat terjadi oksidasi karbon, menimbulkan kemunduran elektroda dan berpotensi mempengaruhi evaluasi kinerja elektrokimia katalis. Meskipun demikian, oksidasi karbon secara elektrokimia dapat menguntungkan sensor elektrokimia, seperti yang umumnya disepakati bahwa oksidasi elektrokimia dari GC mengaktifkan permukaan elektroda, mengarah ke kinetika transfer elektron yang lebih cepat.

Penggunaan GCE untuk kegiatan yang berkaitan dengan elektrolisis memperkecil kesalahan dalam memperoleh data pengukuran. GCE digunakan untuk keperluan penelitian yang membutuhkan data yang sensitif, seperti pada pengukuran untuk melakukan karakterisasi material sensor.

G. Metode Voltametri

1. Definisi Voltametri

Voltametri merupakan salah satu teknik elektro analitik dengan prinsip dasar elektrolisis. Elektroanalisis merupakan suatu teknik yang berfokus pada hubungan antara besaran listrik dengan reaksi kimia, yaitu menentukan satuan-satuan listrik seperti arus, potensial, atau tegangan, dan hubungannya dengan parameter-parameter kimia.

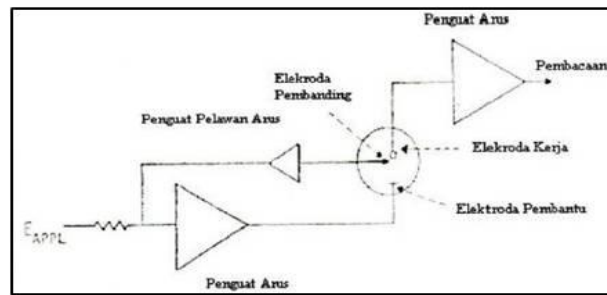
Dalam teknik voltametri, potensial yang diberikan dapat diatur sesuai keperluan. Kelebihan dari teknik ini adalah sensitifitasnya yang tinggi, limit deteksi yang rendah dan memiliki daerah linier yang lebar. Selama proses pengukuran, konsentrasi analit praktis tidak berubah karena hanya sebagian kecil

analit yang dielektrolisis. Potensial elektroda kerja diubah selama pengukuran, dan arus yang dihasilkan dialurkan terhadap potensial yang diberikan pada elektroda kerja. Arus yang diukur pada analisis voltametri terjadi akibat adanya reaksi redoks pada permukaan elektroda. Kurva arus terhadap potensial yang dihasilkan disebut dengan voltammogram. Arus yang dihasilkan sebanding dengan konsentrasi analit dalam larutan. Adapun sel voltametri dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Sel Voltametri

Voltametri merupakan suatu metode elektro analitik dengan prinsip dasar elektrolisis. Teknik voltametri dapat digunakan untuk menganalisis senyawa-senyawa kimia yang bersifat elektroaktif, mempelajari proses reduksi dan oksidasi dibagian medium, proses adsorpsi pada permukaan, dan mempelajari jalur transfer elektron dipermukaan elektroda. Hasil analisis dengan menggunakan teknik voltametri ini dapat diketahui dari voltammogram yang terbentuk. Analisis lebih lanjut berkaitan dengan hubungan arus sebagai fungsi dari konsentrasi analit pada potensial tertentu sehingga dapat digunakan untuk analisis kuantitatif. Rangkaian yang terdapat pada voltametri dapat diamati pada Gambar 11.



Gambar 11. Rangkaian elektroda pada voltametri

Reaksi reduksi dan oksidasi terjadi pada permukaan elektroda kerja yang akan menghasilkan arus listrik yang terukur. Ada tiga macam arus yang dihasilkan pada teknik voltametri, yaitu arus difusi, arus migrasi dan arus konveksi.

a. Arus Difusi

Arus difusi merupakan arus yang disebabkan akibat perubahan gradien konsentrasi pada lapisan difusi sebanding dengan konsentrasi analit dalam larutan. Arus ini adalah arus yang diharapkan pada voltametri karena informasi yang dibutuhkan adalah konsentrasi analit. Arus difusi sebanding dengan kecepatan difusi dari analit yang bersangkutan ke arah elektroda. Kecepatan difusi dalam proses perpindahan massa sebanding dengan konsentrasi sehingga arus difusi juga sebanding dengan konsentrasi.

b. Arus migrasi

Arus migrasi merupakan arus yang timbul akibat gaya tarik elektrostatik antara elektroda dengan ion-ion dalam larutan. Arus migrasi dapat diminimalisasi dengan cara penambahan larutan elektrolit pendukung.

c. Arus konveksi

Arus konveksi merupakan arus yang timbul akibat gerakan fisik, seperti

rotasi atau vibrasi elektroda dan perbedaan rapat massa. Arus konveksi diminimalisasi dengan tidak melakukan pengadukan sesaat sebelum pengukuran, untuk mempertahankan keboleh ulangan pengukuran dan menjaga agar temperatur larutan yang diukur tetap.

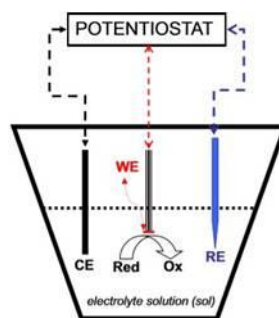
Sel voltametri terdiri dari tiga elektroda, yaitu elektroda kerja, elektroda pembanding, dan elektroda referensi. Metode voltametri atau *polarography* atau *polarographic analysis* merupakan metode elektroanalisis dimana informasi tentang analit diperoleh dari pengukuran arus fungsi potensial. Teknik pengukurannya dilakukan dengan cara mempolarisasikan elektroda kerja. Metode ini termasuk metode aktif karena pengukurannya berdasarkan potensial yang terkontrol.

2. Prinsip Kerja Voltametri

Voltametri adalah salah satu teknik elektrokimia yang dapat digunakan sebagai alternatif dalam analisis logam. Prinsip analisis voltametri adalah pengukuran arus yang dihasilkan dari reaksi redoks analit karena adanya potensial yang dialirkan. Pada teknik voltametri elektroda kerja yang digunakan berukuran sangat kecil sehingga memiliki sensitivitas tinggi dan limit deteksi pada skala ppb. Keunggulan lain pada teknik voltametri adalah preparasi sampel dan penggunaan instrumen yang mudah. Selain itu, teknik voltametri juga dapat mengukur kadar logam pada suatu sampel secara simultan.

Penggunaan voltametri banyak digunakan untuk karakterisasi spesies redoks dan penentuan analitis. Selain itu, termodinamika dan kinetika transfer muatan, reaksi kimia atau fenomena adsorpsi juga dapat dianalisis. Pengukuran

voltametri diatur dengan cara tertentu untuk memberikan informasi tentang fenomena yang terjadi disalah satu elektroda saja, yang disebut elektroda kerja. Skema sel tipikal digambarkan pada Gambar 12 yang terdiri dari elektroda kerja (WE), dengan luas permukaan elektroda terkecil, elektroda kedua, disebut elektroda referensi (RE), dan yang ketiga adalah elektroda counter (CE). Arus mengalir hanya antara elektroda kerja dan elektroda konter. Reaksi elektrokimia di elektroda counter biasanya tidak diketahui, dan akhirnya tidak relevan untuk hasil pengukuran. Rangkaian elektroda pada voltametri dapat dilihat pada Gambar 12.

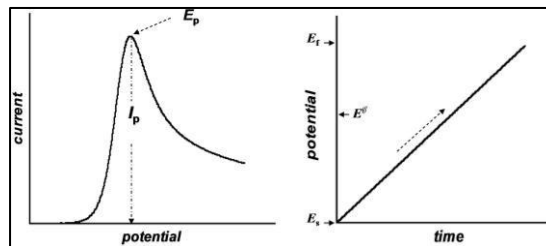


Gambar 12. Prinsip kerja elektroda pada voltametri

Pada Gambar 12 terlihat ada tiga buah elektroda, sebagian besar voltametri menggunakan 3 elektroda yang bekerja dengan cara seperti Gambar 12. Nilai potensi larutan elektrolit bernilai sama dengan potensi fase logam dari elektroda referensi. Perbedaan potensial antara fase logam dari elektroda kerja dan larutan elektrolit adalah sama dengan nilai potensial antara elektroda kerjadan elektroda referensi. Tegangan antara elektroda kerja dan elektroda *counter* diatur oleh potentiostat sehingga memiliki perbedaan potensial yang diinginkan antara elektroda kerja dan larutan elektrolit. Untuk percobaan voltametri, di mana potensial adalah fungsi waktu tertentu, potentiostat harus dihubungkan dengan

generator bentuk gelombang potensial.

Representasi grafis dari hasil percobaan voltametri disebut voltammogram. Contoh voltammogram adalah berupa hubungan besaran listrik dan reaksi kimia, seperti Gambar 13.



Gambar 13. Voltammogram

Pada Gambar 13 terdapat 2 kurva dengan hubungan yang berbeda. Salah satunya kurva $I - E$, yang mewakili variasi arus I terhadap potensial E yang dikontrol dari elektroda kerja, relatif terhadap potensial konstan dari elektroda referensi. Voltametri semacam ini dikenal sebagai voltametri dengan pemindaian potensial linier atau *Linear Sweep Voltammetry* (LSV). Parameter utama dari teknik ini adalah laju variasi potensial dengan waktu (laju sapu, atau laju pemindaian, v). Tingkat sapuan didefinisikan sebagai rasio dari interval potensial.

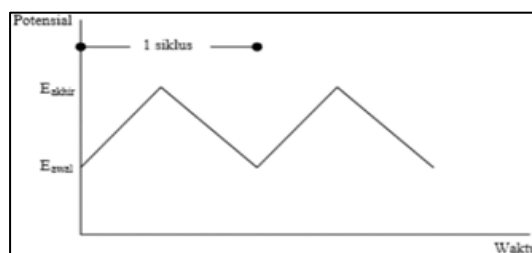
3. Jenis Pengukuran Voltammetry

a. *Cyclic Voltammetry* (CV)

Voltametri siklik adalah teknik analisis umum yang digunakan dalam analisis kualitatif dari reaksi elektrokimia. Teknik ini mampu memberikan informasi mengenai termodinamika proses reduksi-oksidasi dan kinetika transfer elektron yang terjadi di permukaan elektroda. Keuntungan utama voltametri siklik adalah kemampuan inherennya untuk menggerakkan sistem elektroda, baik

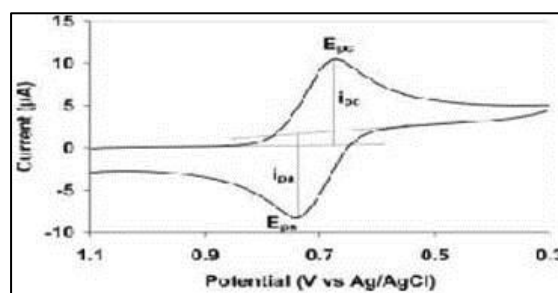
dalam arah anodik maupun katodik. Proses fisikokimia tambahan apa pun yang melibatkan spesies redoks contohnya adsorpsi, reaksi kimia homogen, disproporsionasi, dan lainnya mampu dianalisa dengan voltametri siklik.

Pada teknik voltammetri ini potensial diberikan dalam suatu siklus antara dua nilai beda potensial, pada awal potensial meningkat hingga maksimum kemudian turun secara linier dengan nilai kemiringan yang sama hingga kembali ke potensial awal. Siklus ini akan berulang-ulang dan harus dicatat sebagai fungsi waktu. Ilustrasi tentang teknik voltammetri siklik ini dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Siklus *Cyclic Voltammetry* (CV)

Hasil dari voltammetri siklik ini adalah hubungan antara arus dan potensial disebut voltammogram siklik seperti dapat dilihat pada Gambar 14.



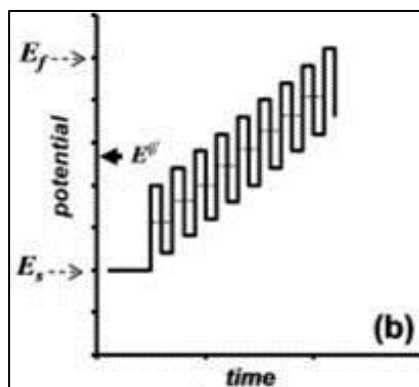
Gambar 15. Kurva hasil pengukuran *Cyclic Voltammetry* (CV)

b. *Square Wave Voltammetry* (SWV)

Teknik square wave voltammetry merupakan salah satu jenis analisis

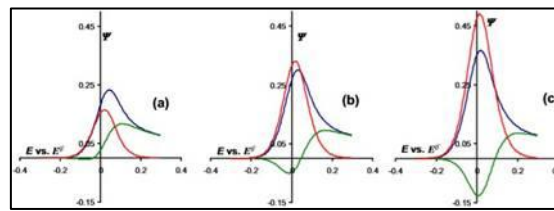
elektrokimia yang dikenal memiliki tingkat sensitivitas yang paling tinggi diantara Teknik *voltammetry* lainnya. Teknik ini memiliki beberapa parameter yang perlu dioptimasi guna meningkatkan karakterisasi metode kerjanya. Parameter tentu berpengaruh terhadap hasil analisis menggunakan teknik ini. Parameter tersebut meliputi parameter konsentrasi elektrolit, pH, dan *sampling time*.

Pengukuran dengan voltametri juga dapat dilakukan dengan cara yang *square wave voltammetry*, jika fungsi potensial tangga dikombinasikan dengan pulsa potensial kecil, seperti yang digambarkan pada Gambar 16 maka dihasilkan bentuk voltammogram *Square Wave Voltammetry*. *Square Wave Voltammetry* dianggap sebagai salah satu bentuk teknik voltametri yang paling canggih karena jauh lebih akurat.



Gambar 16. Voltammogram *Square Wave Voltammetry* (SWV)

Square Wave Voltammetry menghasilkan *peak* atas saja, tidak seperti siklik voltametri yang mempunyai *peak* atas dan *peak* bawah. Contoh voltammogram SWV dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 17. Kurva hasil pengukuran SWV

Gambar 17 adalah bentuk dari kurva yang dihasilkan untuk pengukuran SQW, dimana hanya terdapat satu buah *peak* atau puncak yang dihasilkan.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian literatur dan analisa data serta pembahasan terhadap sensor glukosa elektrokimia dikemukakan beberapa kesimpulan yaitu:

1. Material dengan nilai linier range terbaik adalah CuNiO yaitu dengan nilai sebesar 0.05-6.9 mM
2. Material dengan nilai sensitivitas terbaik adalah Ni(II) 1D-CP/C₆₀ yaitu dengan nilai 614.29 $\mu\text{A mM}^{-1}\text{cm}^{-3}$
3. Material dengan nilai limit deteksi (LoD) terbaik adalah Cu NWs yaitu dengan nilai 0.035 μM .

Sensor glukosa memiliki karakter minimum dimana kualitas sensor akan semakin baik jika sensitivitas tinggi, limit deteksi rendah dan linier range yang lebar. Data tersebut merupakan spesifikasi desain sensor glukosa berbasis elektrokimia. Hasil performansi menunjukkan sensor glukosa pada darah manusia menggunakan sensor elektrokimia dapat dikembangkan menjadi alat ukur yang sensitif dan selektif.

B. Saran

Berdasarkan hasil yang telah dicapai dan kekurangan yang ditemukan dalam penelitian sebagai saran untuk tindak lanjut dan pengembangan dalam penelitian ini yaitu sensor glukosa berbasis elektrokimia dapat dikembangkan dalam penelitian selanjutnya untuk mendapatkan nilai besaran agar sensitivitas dan selektivitas pengukuran menjadi lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Bakri, Ilham. (2010). Spesifikasi awal produk. <http://www.scribd.com/>. Diakses 24 januari 2020.
- Balasubramanian, P., Settu, R., Chen, S. M., & Chen, T. W. (2018). Voltammetric sensing of sulfamethoxazole using a glassy carbon electrode modified with a graphitic carbon nitride and zinc oxide nanocomposite. *Microchimica Acta*, 185(8), 3–11.
- Caulcut, R. and Boddy, R. 1983. *Statistic for Analytical Chemistry*. London: Chapman and Hall.
- Cooper, WD. (1999). *Instrumentasi Elektronika dan Teknik Penggukuran*. Erlangga, Jakarta.
- 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.
- 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.
- 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. *Int. J. Electrochem. Sci*, 7, 7797-7808.
- Joseph, J. I. (2020). Review of the Long-Term Implantable Senseonics Continuous Glucose Monitoring System and Other Continuous Glucose Monitoring Systems. *Journal of Diabetes Science and Technology*, 15(1), 167–173.
- Joshi, P. S., & Sutrave, D. S. 2018. Building an Arduino based potentiostat and Instrumentation for Cyclic Voltammetry. *Journal of Applied Science and Computations*
- Kriswandini, L. (2012). Efek antihiperglikemik ekstrak biji jintan hitam (*nigella sativa*) pada tikus model diabetes tipe II (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim).
- Kang, X., Mai, Z., Zou, X., Cai, P., & Mo, J. (2007). A sensitive nonenzymatic glucose sensor in alkaline media with a copper nanocluster/multiwall carbon nanotube-modified glassy carbon electrode. *Analytical biochemistry*, 363(1), 143-150.
- Lok, M. (2009). Coprecipitation. *Synthesis of Solid Catalysts*, 135–151.
- McCreery, R. L. (2008). Advanced carbon electrode materials for molecular electrochemistry. *Chemical reviews*, 108(7), 2646-2687.
- Mohd Yazid, S. N. A., Md Isa, I., Abu Bakar, S., Hashim, N., & Ab Ghani, S. (2014). A review of glucose biosensors based on graphene/metal oxide nanomaterials. *Analytical letters*, 47(11), 1821-1834.
- Meloni, G. N. (2016). Building a microcontroller based potentiostat: A inexpensive and versatile platform for teaching electrochemistry and instrumentation.

- 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.
- 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.
- Nyenwe, E. A., Odia, O. J., Ihekweba, A. E., Ojule, A., & Babatunde, S. (2003). Type 2 diabetes in adult Nigerians: A study of its prevalence and risk factors in Port Harcourt, Nigeria. *Diabetes Research and Clinical Practice*.
- Park, S., Boo, H., & Chung, T. D. (2006). Electrochemical non-enzymatic glucose sensors. *Analytica chimica acta*, 556(1), 46-57.
- Pranata, A. E. (2013). *Manajemen Cairan dan Elektrolit*. Yogyakarta: Nuha Medika.
- Shahhoseini, L., Mohammadi, R., Ghanbari, B., & Shahrokhian, 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.
- Shamsipur, M., Karimi, Z., Amouzadeh Tabrizi, M., & Rostamnia, S. (2017). Highly sensitive non-enzymatic electrochemical glucose sensor by Nafion/SBA-15-Cu (II) modified glassy carbon electrode. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 799(Ii), 406–412.
- Simanjuntak, B. J. S., Susanto, E., & Estanto, E. (2019). Perancangan Antarmuka Pendulum Terbalik Menggunakan Visual Studio. *eProceedings of Engineering*, 6(2).
- Sugandi, J. N., Suwandi, S., & Rosi, M. (2018). Rancang Bangun Potensiostat Berbasis Mikrokontroler. *eProceedings of Engineering*, 5(3).
- Suryabrata, Sumadi. 2006. *Metodologi Penelitian*. Jakarta : PT RajaGrafindo Persada.
- Suryabrata, S. (2006). *Psikologipendidikan*. Jakarta: PTRajaGrafindo Persada.
- Sutrisno. 1999. *Elektronika Lanjut Teori dan Penerapan*. Bandung : ITB
- Ulianas, A., Lee, Y. H., & Tan, L. L. (2018). Synthesis and optimization of acrylic-N-acryloxysuccinimide copolymer microspheres. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 8(3), 780-784.
- Vaddiraju, S., Legassey, A., Wang, Y., Qiang, L., Burgess, D. J., Jain, F., & Papadimitrakopoulos, F. (2011). Design and fabrication of a high-performance electrochemical glucose sensor. *Journal of Diabetes Science and Technology*, 5(5), 1044–1051.
- Vaddiraju, S., Burgess, D. J., Tomazos, I., Jain, F. C., & Papadimitrakopoulos, F. (2010). Technologies for continuous glucose monitoring: Current problems and future promises. *Journal of Diabetes Science and Technology*, 4(6), 1540–1562.
- Vaddiraju, S., Legassey, A., Qiang, L., Wang, Y., Burgess, D. J., & Papadimitrakopoulos, F. (2013). Enhancing the sensitivity of needle-implantable electrochemical glucose sensors via surface rebuilding.

- Journal of Diabetes Science and Technology, 7(2), 441–451.
- Wang, R., Liang, X., Liu, H., Cui, L., Zhang, X., & Liu, C. (2018). Non-enzymatic electrochemical glucose sensor based on monodispersed stone-like PtNi alloy nanoparticles. *Microchimica Acta*, 185(7), 1–7.
- 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.
- Yaswir, R., & Ferawati, I. (2012). Fisiologi dan gangguan keseimbangan natrium, kalium dan klorida serta pemeriksaan laboratorium. *Jurnal Kesehatan Andalas*, 1(2).
- Yu, X., Zhang, J., Tang, X., Wei, Y., Kou, S., Niu, J., & Yao, B. (2018). Preparation and performance of non-enzymatic glucose sensor electrode based on nanometer cuprous oxide. *Nanomaterials and Nanotechnology*, 8(5), 1–9.
- 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.
- 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.
- 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.
- Zhang, Yue, Xu, F., Sun, Y., Shi, Y., Wen, Z., & Li, Z. (2011). Assembly of Ni(OH)₂ nanoplates on reduced graphene oxide: A two dimensional nanocomposite for enzyme-free glucose sensing. *Journal of Materials Chemistry*, 21(42), 16949–16954.
- 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.
- Zhu, X., Jiao, Q., Zhang, C., Zuo, X., Xiao, X., Liang, Y., & Nan, J. (2013). Amperometric nonenzymatic determination of glucose based on a glassy carbon electrode modified with nickel (II) oxides and graphene. *Microchimica Acta*, 180(5-6), 477–483.

