

Aplikasi Biosensor Elektrokimia untuk Deteksi Cepat Konsentrasi Alkohol dalam Darah

Aghniya Nur Rizka Fadila¹⁾, Hasna Labib Lathifah¹⁾

¹⁾ Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Bandung,
Jl. Soekarno-Hatta No.752, Cipadung Kidul, Kec. Panyileukan, Kota Bandung, Jawa Barat 40614.
Email: aghniyanurrikafadila@gmail.com

Abstrak

Konsumsi alkohol secara global terus mengalami peningkatan yang signifikan, dengan laju kenaikan mencapai 106,7% setiap 15 tahun. Alkohol diketahui berkontribusi terhadap sekitar 2,3 juta kematian dini setiap tahunnya di seluruh dunia. Kondisi ini mendorong perlunya pengembangan metode deteksi alkohol yang sensitif, murah, mudah diproduksi, dan ramah lingkungan. Kajian pustaka ini bertujuan untuk mengkaji perkembangan biosensor dalam mendeteksi alkohol pada berbagai spesimen biologis. Metode penelitian menggunakan studi literatur dari jurnal internasional yang terindeks pada PubMed, ScienceDirect, Frontiers, dan MDPI. Hasil kajian menunjukkan bahwa berbagai jenis biosensor telah dikembangkan, antara lain Sparfloxacin-Capped Gold Nanoparticle, biosensor enzim amperometrik berbasis alkohol oksidase (AOX) dan alkohol dehidrogenase (ADH), wearable electrochemical alcohol biosensor, serta breathalyzer. Biosensor berbasis Sparfloxacin-Capped Gold Nanoparticle memiliki sensitivitas tinggi dengan batas deteksi 25–350 μM . Biosensor enzim amperometrik mampu mendeteksi alkohol pada rentang 0,01–0,1%, sedangkan wearable biosensor dan breathalyzer masing-masing memiliki batas deteksi yang setara dengan kadar alkohol dalam darah. Kesimpulan menunjukkan bahwa biosensor alkohol memiliki sensitivitas tinggi dan berpotensi luas untuk aplikasi bioforensik dan deteksi kesehatan,

Kata kunci: Biosensor, Biosensor Enzim Amperometrik, *Breathalyzer*

Abstract

Global alcohol consumption has increased significantly, with a consistent growth rate of approximately 106.7% every 15 years. Alcohol consumption is responsible for an estimated 2.3 million premature deaths annually worldwide, highlighting the urgent need for effective alcohol detection methods. This literature review aims to examine the development of alcohol biosensors with high sensitivity, low cost, ease of production, and environmental sustainability. The review is based on international journal articles indexed in PubMed, ScienceDirect, Frontiers, and MDPI. The findings indicate that several types of biosensors have been developed to detect alcohol in biological specimens such as blood, saliva, sweat, and breath. These include Sparfloxacin-capped gold nanoparticles, amperometric enzyme-based biosensors using alcohol oxidase (AOX) and alcohol dehydrogenase (ADH), wearable electrochemical alcohol biosensors, and breathalyzers. Among these, Sparfloxacin-capped gold nanoparticle biosensors exhibit superior sensitivity with detection limits ranging from 25 to 350 μM . Amperometric enzyme biosensors demonstrate detection limits between 0.01% and 0.1%, while wearable biosensors and breathalyzers provide detection ranges comparable to blood alcohol concentration levels. In conclusion, alcohol biosensors show high sensitivity and strong potential for applications in bioforensics and health monitoring.

Keywords: Biosensor, Biosensor Enzyme Amperometric, *Breathalyzer*

1. PENDAHULUAN

Konsumsi alkohol menjadi tren masyarakat dunia dalam memenuhi keinginan manusia dengan berbagai tujuan dan alasan, seperti untuk hiburan, pelarian dari permasalahan kehidupan dan sebagai kebutuhan untuk bertahan di kondisi lingkungan atau sebagai minuman penghangat tubuh (Cherpitel, 2022). Konsumsi alkohol terus meningkat di seluruh dunia, dengan total mencapai >2,5 juta jiwa sejak tahun 1970-an, dan terus mengalami peningkatan menjadi 106,7% selama 15 tahun dari sebelumnya, bahkan terus meningkat dengan laju yang sama hingga saat ini (Rao, *et al.*, 2015).

Alkohol atau etanol dengan rumus kimia $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ disebut dengan etil alkohol merupakan senyawa kimia organik berbentuk cair pada suhu kamar, biasa dikonsumsi sebagai minuman beralkohol, konsumsi ini mencapai setengah dari populasi dunia dengan dominasi

terbanyak tinggal di Amerika, Eropa, dan Pasifik Barat dengan rata-rata pengonsumsi alkohol ini berada pada usia di atas 15 tahun (Lalongo, 2023). Tetapi seringkali, konsumsi alkohol ini menjadi malapetaka penyebab kekerasan, cedera dan kecelakaan di seluruh dunia. Bahkan setiap tahunnya alkohol bertanggung jawab atas sekitar 2,3 juta kematian dini di seluruh dunia, dan lebih dari sepertiga beban penyakit diakibatkan oleh konsumsi alkohol (Alan & Jones, 2019).

Konsumsi alkohol menjadi beban yang berdampak signifikan pada kesehatan dan keselamatan masyarakat. Sekitar 80% konsumsi alkohol dalam bentuk minuman keras atau minuman beralkohol hasil penyulingan dan mayoritas minuman beralkohol ini dalam konsentrasi yang tinggi (Martin, Alessi, & Boudreaux, 2021). Sehingga tidak heran, jika alkohol menjadi penyumbang beban penyakit dan kecelakaan di dunia.

Kasus- kasus yang terjadi merupakan efek dari konsumsi alkohol yang hilang kendali atau sering disebut mabuk, yang meliputi beberapa kasus kejadian seperti kecelakaan lalu lintas di bawah konsumsi alkohol, overdosis, keracunan, luka bakar akibat alkohol, jatuh dan tenggelam yang berakibat fatal bahkan hingga kekerasan terhadap diri sendiri dan orang lain (Rao, *et al.*, 2015).

Konsumsi alkohol ini juga dikaitkan dengan penyalahgunaan alkohol yang berujung pada masalah kesehatan seperti adanya kerusakan hati, gangguan mental hipertensi dan penyakit lainnya. Sehingga diperlukan suatu pemantauan kadar alkohol dalam darah yang aplikatif, sensitive dan akurasi yang tinggi, hal ini bertujuan sebagai aplikasi dalam penegakan hukum dalam bidang forensic hingga diagnosis klinis dan pengobatan perawatan (Hooda, Kumar, Gahlaut, & Hooda, 2017).

Biosensor merupakan alat deteksi yang menggabungkan komponen biologis seperti enzim, DNA, atau antibodi dengan transduser yang beragam untuk mendeteksi analit tertentu (Alan & Jones, 2019). Beragam biosensor untuk deteksi alkohol ini telah banyak dikembangkan, mulai dari pengujian konsentrasi alkohol di dalam darah menggunakan biosensor berbasis enzim alkohol oksidase (AOD) atau alkohol dehidrogenase (ADH), pengembangan biosensor alkohol dalam keringat dan uap, selain itu terdapat juga pengembangan biosensor melalui transdermal yang memberikan data secara kuantitatif yang menghasilkan sinyal yang dapat diukur secara elektrik, optic ataupun lainnya, (Jalal, Arbabi, Ahad, Alam, & Ahmed, 2024).

Berdasarkan penelitian dari Jones, 2019 terdapat hubungan erat antara konsumsi alkohol yang terakumulasi dalam darah dan terdistribusi ke seluruh tubuh termasuk jantung, paru-paru dan hati. Alkohol yang dikonsumsi akan mengalami absorpsi oleh lambung dan usus kemudian didistribusikan ke seluruh tubuh melalui peredaran darah yang dapat mencapai puncaknya dalam waktu 30-90 menit setelah konsumsi alkohol dengan bergantung pada konsentrasinya. Setelah itu, alkohol akan dimetabolisme di hati oleh dua enzim yaitu ADH dan ALDH dan dari proses metabolisme ini alkohol dapat dideteksi oleh biosensor sebagai sinyal biologis yang dapat menghasilkan sinyal yang sesuai dengan konsentrasi alkohol di dalam tubuh (Cheripitel, 2022).

Pengembangan biosensor untuk deteksi alkohol sudah banyak dikembangkan dengan mengukur kadar alkohol dari berbagai sampel termasuk air mata, darah, air liur, napas dan keringat. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Pang, 2025 (Peng, *et al.*, 2025) yang menyebutkan elektrokimia yang fleksible dan mampu melakukan analisis kadar alkohol dalam keringat secara

non invasive dari karbon nanotube dan dengan elektrodeposisi menggunakan nanopartikel emas dapat meningkatkan tingkat spesifitas yang lebih tinggi.

Meskipun metode analisa lain juga memiliki kelebihan dan kelemahan dalam metode deteksinya. Sehingga kemajuan biosensor dalam deteksi alkohol ini masih menghadapi tantangan seperti peningkatan sensitivitas dan spesifitas serta biosensor dengan deteksi yang cepat, mudah dan memastikan stabilitas dalam jangka panjang. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengatasi tantangan ini dengan mengkaji biosensor untuk mendeteksi alkohol yang memiliki spesifitas lebih tinggi dengan mempertimbangkan faktor keramahan lingkungan dan efek samping pemakaian alat sensor.

2. METODE

Analisis jurnal ini menggunakan metode studi literatur untuk menganalisis perkembangan terkini dalam bidang biosensor dalam deteksi alkohol pada darah. Yang mana studi literatur ini bertujuan untuk mengidentifikasi perkembangan penelitian, teknologi yang spesifitasnya tinggi, dan tantangan yang ada dalam pengembangan biosensor dalam deteksi alkohol. Data dikumpulkan dari berbagai situs jurnal terpercaya seperti PubMed, ScienceDirect, Froniers, dan MDPI. Strategi pencarian dilakukan dengan memasukkan kata kunci pencarian yang meliputi “biosensor” “*detection alcohol*” “*alcohol in the blood*” “*alcohol biosensor*” dan “*blood alcohol detection*”.

Kemudian artikel dipilih berdasarkan analisis yang memenuhi kriteria persyaratan seperti dipublikasikan dalam jurnal ilmiah *peer-review*, berfokus pada pengembangan biosensor, adanya analisis teori yang relevan sesuai dengan topik penelitian dan dipublikasikan dalam rentang waktu 10 tahun terakhir (2015-2025), hal ini bertujuan untuk relevansi sesuai dengan perkembangan terkini.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsumsi alkohol dapat terakumulasi di dalam darah, karbon dioksida (CO₂), keringat, urin dan air liur karena mengalami transformasi, absorpsi, distribusi, eliminasi dan detoksifikasi di dalam tubuh. Dimana akumulasi alkohol ini sangat tergantung pada kondisi penyerapan oleh organ tubuh, konsentrasi alkohol, dan intensitas waktu saat melakukan deteksi. Alkohol akan dimetabolisme oleh tubuh sehingga diperlukan beberapa alat deteksi alkohol yang memiliki kemampuan dan spesifitas yang tinggi [6]. Biosensor yang dibahas dalam penelitian ini meliputi biosensor dengan elemen rekognisi yang dimodifikasi yaitu elemen yang berfungsi untuk mengenali specimen secara spesifik, Adapun hasil dan pembahasannya sebagai berikut:

3.1 Biosensor berbasis *Sparfloxacin-Capped Gold Nanoparticle*

Biosensor ini merupakan biosensor yang menggunakan elemen nanopartikel emas (AuNPs) yang telah dimodifikasi dengan sparfloxacine. Pengembangan metode ini didasarkan karena perkembangan nanopartikel yang semakin pesat dengan sensitivitas yang tinggi. Nanopartikel emas memiliki sifat yang menarik yang bergantung dari perubahan warna sesuai dengan ukuran, luas permukaan yang luas, stabilitas tinggi, sifat optik yang bagus, dan toksisitas rendah dengan biokompatibilitas yang sangat baik dan memiliki kapasitas katalitik yang baik (Gupta & Padmanabhan, 2018).

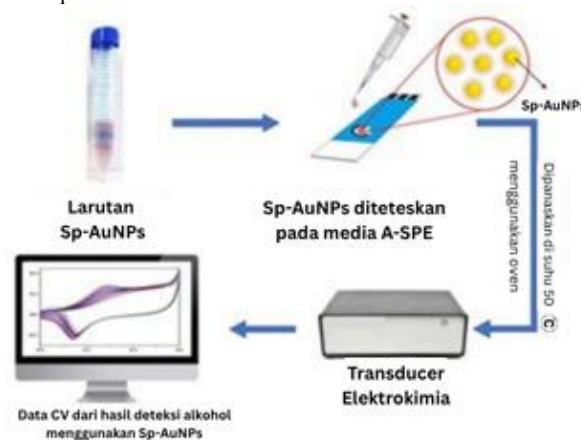
Pada umumnya produksi untuk memperoleh AuNPs ini menggunakan senyawa pereduksi organik maupun anorganik menggunakan analisis sintesis elektrokimia, sintesis hijau, sintesis fotokimia. Dimana sintesis ini memerlukan agen pereduksi seperti emas klorida atau emas nitrat yang dapat menghasilkan ukuran partikel nano mencapai 1-100 nm dan umumnya memerlukan biaya produksi yang tinggi dan cenderung sifatnya lebih toxic (Xaba, *et al.*, 2017).

Namun produksi ini masih mengalami kesulitan dalam memproduksi AuNPs yang stabil dengan ukuran nanopartikel yang sesuai untuk mendeteksi alkohol melalui prinsip elektrokimia pada elektroda. Penggunaan sparfloxacine dapat mengurangi permasalahan dari sintesis AuNPs ini. Sparfloxacine merupakan salah satu

obat anti-bakteri dengan aktivitas yang luas pada bakteri gram negatif dan positif, yang mana pada sparfloxacine mengandung kuinolon yang bertindak sebagai agen pereduksi untuk mengubah ion emas menjadi AuNPs. Dengan metode sintesis yang baru ini dapat dihasilkan sintesis AuNPs dengan stabilitas yang lebih besar dengan biaya yang lebih rendah (Magesh, *et al.*, 2023).

Biosensor berbasis Sparfloxacine merupakan biosensor untuk mendeteksi alkohol yang mengkombinasikan elemen biorekognisi berbasis elektrokimia yang dilengkapi dengan bantuan AuNPs yang diproduksi dari sparfloxacine (Efekhari, Schwarzenberger, & Eckert, 2020). Prinsip dari metode ini adalah mengembangkan sensor elektrokimia dengan mengubah analit pada sampel saliva kemudian ditangkap dengan elemen biorekognisi elektroda yang dilengkapi dengan AuNP dengan dimodifikasi sparfloxacine.

Elemen biorekognisi yang dilengkapi dengan AuNPs ini kemudian akan menghasilkan sinyal listrik yang kemudian diterjemahkan menjadi sinyal. Pada proses produksinya dengan berbasis sparfloxacine akan menghasilkan AuNPs yang sensitivitasnya tinggi dan ramah lingkungan (Magesh, *et al.*, 2023), dengan ilustrasi skema pembuatannya adalah pada gambar 1 berikut :

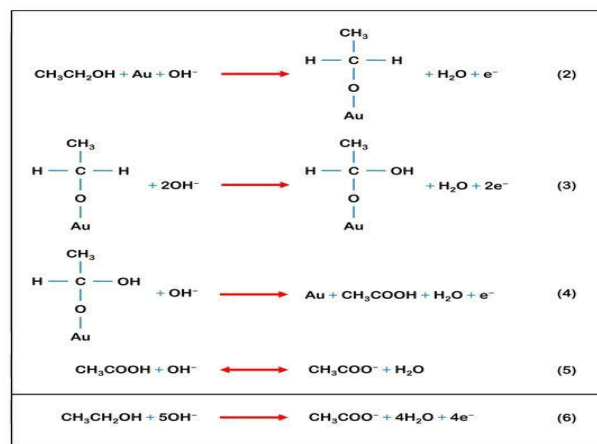


Gambar 1. Skema ilustrasi sintesis kimia Sp-AuNPs (Magesh, *et al.*, 2023)

Sp-AuNPs diperoleh dengan menggunakan metode reduksi kimia dengan melarutkan Emas klorida nitrat yang direduksi dengan air suling dan sparfloxacine yang dihomogenkan secara homogen dengan perlahan. Setelah itu untuk meningkatkan tingkat reduksi dari emas ditambahkan larutan basa yaitu NaOH sampai larutan berubah warna menjadi merah. Kemudian sentrifugasi dengan mengambil endapan yang tersisa, ulangi langkah sentrifugasi dengan ambil supernatannya kemudian dilakukan karakterisasi menggunakan alat

konfigurasi. Setelah identifikasi karakterisasi yang baik analisis dilanjutkan dengan mengkombinasikan elektroda kimia yang bekerja yaitu elektroda kerja menggunakan SP-AUNPs yang telah stabil keringkan lalu ujicobakan hasilnya (Magesh, *et al.*, 2023).

Pada reduksi emas menggunakan agen sparfloxacine, terjadi analisa reaksi oksidasi dan reduksi yang terjadi seperti pada gambar 2 berikut:



Gambar 2. Reaksi reduksi sintesis SP-AUNPs (Magesh, *et al.*, 2023)

Mekanisme yang terjadi pada proses sintesis SP-AUNPs ini melibatkan EtOH. Pertama molekul alkohol melepaskan satu electron saat berinteraksi dengan ion hidroksil dalam membentuk molekul air dan etoksi yang kemudian teradsorpsi ke permukaan emas. Selain itu mekanisme ini terbentuk ketika konsentrasi dari salah satu apabila konsentrasinya tinggi dan akan menghasilkan reaksi yang berbanding lurus dengan konsentrasi (Yu, Zhai, & Hu, 2019). Untuk melakukan analisa pengujian deteksi alkohol, maka sampel diperoleh dari saliva. Saliva digunakan sebagai sampel karena pada umumnya saliva mencerminkan kadar alkohol di dalam darah, meskipun dalam konsentrasi yang lebih rendah. Selain itu saliva merupakan salah satu metode non invasive yang nyaman dibandingkan dengan pengambilan sampel melalui darah, dengan menggunakan teknologi elektrokimia berbasis Sp-AuNPs ini dapat dilakukan pengukuran yang cepat, sensitive, tepat dan akurat.

Hal ini sesuai hasil yang didapatkan dari analisa percobaan yang menganalisa tingkat oksidasi elektrokimia dari Sp-AUNPs menggunakan analisis FE-SEM, E-mapping, EDS, UV Visible dan XRD didapatkan hasil bahwa Sp-AUNPs yang disintesis menunjukkan keberhasilan pembentukan AuNPs yang homogen dengan komposisi unsur yang terdistribusi dengan baik. Selain itu Sp-AuNPs yang disintesis memiliki ukuran partikel nano 25 ± 5 nm dan muatan permukaan negatif karena keberadaan spraflixacin pada permukaan AuNPs. Hal ini juga sesuai dengan penelitian Peng, 2025 (Peng, *et al.*, 2025) yang menyatakan bahwa partikel nano yang ideal berada pada ukuran 1-100 nm dapat meningkatkan sensitivitas biosensor karena meningkatkan interaksi dengan biomolekul dan meningkatkan respon elektroda.

Untuk meningkatkan tingkat selektivitasnya maka elektroda Sp-AuNPs ini diujikan untuk mendeteksi alkohol dalam saliva, saliva dilakukan pengenceran terlebih dahulu. Hal ini akan didapatkan konsentrasi yang lebih tinggi dan mencegah komponen lain dalam saliva seperti protein dan elektrolit tidak terganggu dan tidak

mempengaruhi hasil analisa (Alan & Jones, 2019). Saliva yang diperoleh ini menargetkan alkohol yang terkandung dalam saliva karena dijelaskan sebelumnya bahwa kandungan alkohol saliva mencerminkan kadar dalam darah hasil dari akumulasi alkohol di dalam tubuh. Hasil analisa menunjukkan bahwa arus puncak oksidasi didapatkan dari elektroda berbasis Sp-AuNPs dibandingkan dengan elektroda karbon biasa/polos. Dengan hal ini menunjukkan bahwa Sp-AuNPs dapat mendeteksi alkohol di dalam berbagai sampel dengan batas nilai deteksi analisa ini mulai 25 hingga 350 μM , dengan LOD terendah 0,55 μM .

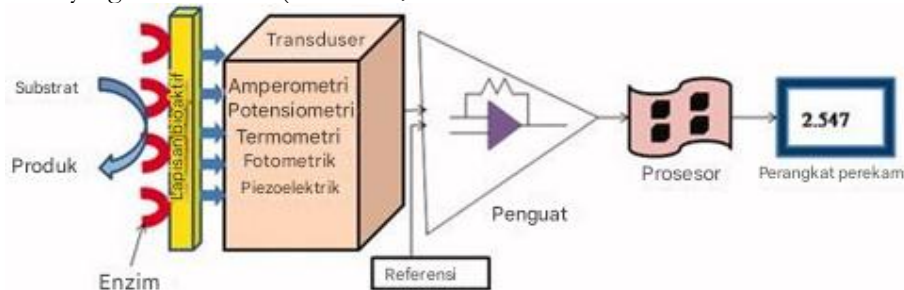
Kelebihan lainnya dari hasil analisa stabilitas ditunjukkan hasil bahwa sensor ini menunjukkan kemampuannya untuk mendeteksi etanol dalam kondisi basa, mengungguli penelitian sebelumnya. Hasil penelitian reproduktifitas dan pengulangan telah mengungkapkan bahwa Sp-AuNPs/A-SPE sangat stabil dan sangat sensitif untuk deteksi EtOH. Selain itu, deteksi elektrokimia EtOH dilakukan dengan adanya zat pengganggu dalam media basa. Lebih jauh lagi, sampel air liur manusia diuji dan tingkat pemulihan EtOH yang dicampur dalam sampel ini ditetapkan sebesar 99,6%. Akhirnya, sensor berbasis Sp-AuNPs menunjukkan sensitivitas yang sangat baik untuk penentuan konsentrasi EtOH yang tepat dan langsung. Namun, modifikasi permukaan lebih lanjut diperlukan untuk mencapai selektivitas yang lebih tinggi untuk deteksi etanol dalam sampel biologis atau makanan lainnya (Magesh, *et al.*, 2023).

3.2 Biosensor berbasis Enzim Amperometrik

Biosensor berbasis enzim amperometrik merupakan sensor yang menggunakan enzim katalitik yang mampu mendeteksi dengan spesifitas yang tinggi. Sensor berbasis enzim memiliki kelebihan dibandingkan metode sensor untuk deteksi alkohol lainnya khususnya konvensional, seperti preparasi yang cepat, tidak menggunakan instrument yang mahal, tetapi analisa tetap dilakukan dengan cepat (Jaiswal, Madaan, Acarya, & Kumar, 2021). Sehingga tidak heran meskipun perkembangan biosensor sangat cepat tetapi

metode enzim amperometrik ini masih banyak digunakan karena deteksinya dengan sensitivitasnya tinggi dan dapat digunakan pada sampel diagnostik keringat, serum, napas, saliva dan urin. Bahkan ternyata dapat mendeteksi sampel makanan dan minuman yang beralkohol. Dengan adanya imobilisasi enzim pada elektroda yaitu melibatkan penggunaan enzim, dapat menghasilkan proses transfer elektron redoks dengan proses transfer elektron yang berbanding lurus dengan konsentrasi analisis (Hooda, Kumar, Gahlaut, & Hooda, 2017).

Enzim yang terlibat pada biosensor amperometrik pada alkohol dehidrogenase (AOX) dan alkohol dehidrogenase (ADH). Dengan prinsip pada biosensor ini yaitu menggunakan interaksi enzim yang diimobilisasi pada permukaan elektroda dengan analit spesifik dan menghasilkan perubahan fisik dan kimia menjadi sinyal listrik yang dapat diukur. Dan amplifikasi dan interpretasi sinyal listrik dilakukan untuk menginterpretasikan konsentrasi yang terdeteksi (Meelike, 2016).



Gambar 3. Rancangan biosensor deteksi alkohol (Hooda, Kumar, Gahlaut, & Hooda, 2017)

Biosensor alkohol berbasis enzim melibatkan penggabungan enzim dengan elektroda biosensing dengan menempatkannya di dekat permukaan elektroda. Enzim yang digunakan dalam reaksi kimia menghasilkan spesies elektroaktif selama katalisis. Enzim yang berperan merupakan Alkohol oksidase (AOX) yang mana enzim ini biasanya digunakan dalam katalisis beberapa analisis khamir. Reaksi oksidasi alkohol oleh AOX bersifat irreversible, karena sifat oksidasi O_2 yang kuat (Gupta & Padmanabhan, 2018). Sementara berdasarkan enzim dari alkohol dehidrogenasi atau dikenal dengan ADH dapat mengkatalisis oksidasi alkohol, menggunakan NAD^+ atau $NADP^+$ sebagai penerima elektron dalam reaksi kimia.

Sifat reaksi ini bersifat reversibel dan dapat terdapat berbagai substrat seperti alkohol alifatik primer dan aromatik selain methanol. Untuk mengurangi potensi berlebih yang tinggi dan meminimalkan reaksi samping, berbagai mediator redoks yang diimobilisasi pada permukaan elektroda telah dilaporkan dalam literatur. Secara umum, reaksi kimia antara mediator teroksidasi (MED_{ox}) dan $NADH$ menghasilkan NAD^+ sebagai produk. Lebih jauh, sebagai hasil dari reaksi antara NAD^+ dan ADH, etanol diubah menjadi asetaldehida (Meelike, 2016).

Prinsip utama yang terlibat dalam kerja biosensor enzim amperometrik berfungsi dengan pengukuran respons arus yang dihasilkan ketika potensial diterapkan antara elektroda kerja dan referensi. Arus ini dihasilkan sebagai hasil dari reaksi oksidasi atau reduksi elektrokatalitik dari spesies elektroaktif yang terlibat dalam reaksi kimia dan besarnya berkorelasi langsung dengan konsentrasi analit.

Secara umum, sensor enzim amperometrik menjadi pusat perhatian untuk mendeteksi etanol. Arus ini dihasilkan sebagai hasil dari reaksi oksidasi atau reduksi elektrokatalitik dari spesies elektroaktif yang terlibat dalam reaksi kimia dan besarnya berkorelasi langsung dengan konsentrasi analit. Secara umum, sensor enzim amperometrik menjadi pusat perhatian untuk mendeteksi etanol dalam darah atau air liur karena kinerjanya yang tinggi dan desainnya yang sederhana (Hooda, Kumar, Gahlaut, & Hooda, 2017).

Untuk merancang biosensor ini, maka diperlukan elektroda yang dapat mengimobilisasi enzim. Yang mana biasanya penggunaan biosensor ini sangat bergantung pada elektroda kerja seperti elektroda fast. Kemudian melibatkan transduser logam seperti emas, platinum dan palladium untuk menghasilkan sinyal. Perakitan tiga sistem elektroda, yaitu elektroda kerja, elektroda arus balik, dan elektroda referensi yang terdapat dalam sel elektrokimia diperlukan untuk pengukuran amperometrik biosensor. Elektroda kerja harus diimobilisasi dengan enzim karena hal ini merupakan tempat proses transfer elektron pada permukaannya (Jalal, Arbabi, Ahad, Alam, & Ahmed, 2024).

Terdapat berbagai macam metode yang diterapkan untuk mengimobilisasi enzim tersebut seperti menggunakan teknik adsorpsi fisik, formasi cross linking, elektrokimia polimerisasi, monolayer by self assembly, membrane confinement dan melalui ikatan kovalen. Berdasarkan penelitian disebutkan bahwa metode imobilisasi yang paling bagus menggunakan ikatan kovalen, hal ini dikarenakan ikatan kovalen memiliki ikatan yang stabil antara gugus fungsi nukleofilik enzim (seperti gugus karboksil, gugus hidroksil, gugus amino, gugus sulfhidril, tiol) dan transduser, dan karenanya ikatan kovalen terbentuk antara

enzim dan permukaan transduser. Metode ini juga bersifat fleksibel dengan sifat fisika dan kimia yang spesifik untuk berbagi preferensi pembawa, tidak ada hambatan dan kebocoran enzim.

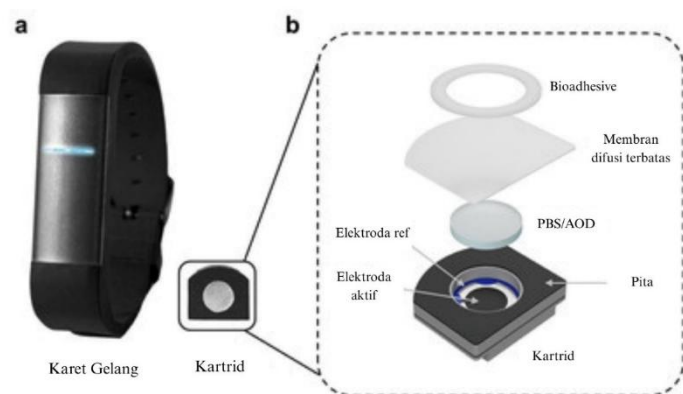
Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan biosensor berbasis enzim amperometri ADH dan AOX ini menunjukkan kemampuan yang signifikan dalam mengukur kadar alkohol dalam melalui spesimen saliva, dan darah. Hal ini dikaitkan karena kemampuan enzim yang selektif dan spesifik sehingga menyebabkan sensitivitas dan spesifitas biosensor ini lebih akurat. Biosensor ini menunjukkan sensitivitas yang tinggi terhadap etanol yang dicapai melalui penggunaan enzim yang spesifik dengan meminimalkan interferensi dari senyawa lain dalam sampel. Batas ambang deteksi biosensor ini berada pada kisaran 0.01% hingga 0.1% (100-1000 mg/dL) yang cukup sensitive untuk dijadikan sebagai biosensor dalam deteksi alkohol (Hooda, Kumar, Gahlaut, & Hooda, 2017).

3.3 Wearable Electrochemical Alcohol Biosensor

Selain dengan tes darah, deteksi alkohol dapat dilakukan dengan analisis keringat karena hasil tidak dapat

diubah dan mengandung senyawa yang berfungsi sebagai biomarker. Alkohol akan berdifusi ke jaringan sekitar sehingga jumlah ekskresi yang tidak berubah dalam keringat 1% sehingga konsentrasi alkohol dalam keringat dapat digunakan sebagai indikator kandungan alkohol dalam darah dengan batas deteksi kisaran 0,1-1,0 g/dL (Costa, *et al.*, 2022).

Alat pendeteksi alkohol di darah yang telah berdifusi melalui kulit dengan jalur deteksi enzimatik yang dapat dipakai secara terus menerus kemudian disajikan dalam bentuk angka yang dikenakan di pergelangan tangan, seperti jam tangan. Pada alat ini terdapat wristband yang dipakai di pergelangan tangan, kartrid dengan membran pembatas difusi yang ditempel pada busa, bioadhesive (perekat biologis yang dapat mengambil sampel keringat), 1.3 unit AOD yang terdiri dari 1 x Phosphate-Buffered Saline (PBS) dan agarose, counter/ref electrode (elektroda pembanding), working electrode, dan tape untuk menahan komponen dalam kartrid (Lansdorp, *et al.*, 2019). Alat pendeteksi alkohol beserta komponennya yaitu seperti pada gambar 4 berikut:

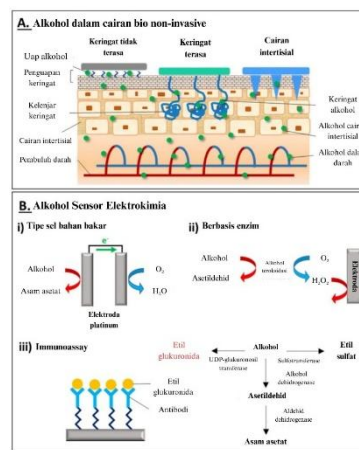


Gambar 4. Komponen utama sensor (Lansdorp, 2019)

Pada deteksi alkohol dari cairan tubuh (keringat) menunjukkan alkohol yang diminum dapat berakhir sebagai cairan tubuh. Alkohol yang diminum akan diserap ke aliran darah melalui pembuluh darah yang kemudian mengalami difusi ke cairan yang mengelilingi sel-sel tubuh (cairan interstitial). Kelenjar keringat akan mengambil cairan di sekitar sel untuk menghasilkan keringat dan menguap di permukaan kulit (keringat yang terasa maupun yang tidak terasa) (Gambar 5A).

Cara sensor untuk mendeteksi alkohol yaitu pertama, terdapat sepasang sensor di permukaan elektroda platina kemudian alkohol dan oksigen masing-masing

akan masuk ke sisi sensor menghasilkan reaksi asam asetat dan air, reaksi ini menghasilkan aliran elektron yang diukur. Kedua, menggunakan enzim alkohol oksidase (AOX) atau enzim alkohol dehidrogenase (ADH) yang akan mengkatalis oksidasi alkohol menghasilkan asetaldehid dan H_2O yang dideteksi elektroda secara elektrokimia. Ketiga, menggunakan antibodi spesifik dan ketika tubuh memecah alkohol menjadi menghasilkan produk sampingan yaitu etil glukuronida yang akan berikatan dengan antibodi menghasilkan sinyal yang kemudian diukur sebagai konsentrasi alkohol dalam darah (Campbell, *et al.*, 2018). Mekanisme deteksi alkohol dalam keringat seperti pada gambar 5 berikut:



Gambar 5. Mekanisme deteksi alkohol (Campbell, *et al.*, 2018)

3.4 Breathalyzer

Alat pendeteksi memperkirakan alcohol dalam darah melalui konsentrasi etanol dalam napas dengan menggunakan transistor elektrokimia organik (OECT) yang dimodifikasi dengan enzim alcohol dehydrogenase (ADH) (Bihar, *et al.*, 2016). Prinsip dasar breathalyzer yaitu sensor gas alcohol semikonduktor berdasarkan pelepasan pembawa muatan (dipengaruhi oksigen dari udara) dengan gas alcohol menghasilkan perubahan konduktivitas sebagai sinyal Listrik yang diukur (Luo, *et al.*, 2022). Deteksi kadar etanol dalam napas setara dengan kadar alcohol dalam darah (BAC) dari 0,01% hingga 0,2% (Bihar, *et al.*, 2016).

Alkohol merupakan larutan dengan tingkat kelarutan yang sangat tinggi. Ketika seseorang mengonsumsi alkohol maka akan diserap ke pembuluh darah kemudian masuk ke hati dan dihancurkan menjadi asetaldehid → asam asetat → H₂O lalu masuk ke

dalam jantung, di dalam jantung alkohol dari bilik kanan akan memasuki saluran pernapasan. Alkohol pada udara yang dihirup ini hasil penguapan dari alveolar dan kapiler. Sensor semikonduktor oksida logam digunakan sebagai unit penginderaan, ketika napas dihirup maka akan ketika terdapat alkohol akan bereaksi dengan enzim alcohol dehydrogenase (ADH) dan reaksi ini menghasilkan electron yang kemudian diukur menjadi konsentrasi alcohol (Bihar, 2016). Analisis dengan breathalyzer memiliki rasio antara alkohol dalam darah pada napas rata-rata 1:2100 sehingga alat ini sangat akurat dalam pengukuran (Peiris, *et al.*, 2025).

Berdasarkan hasil analisis literatur di atas mengenai biosensor untuk deteksi alkohol dapat disimpulkan perbandingan sensitivitas dan batas deteksi di setiap aplikasi biosensor seperti pada tabel 1 berikut :

Tabel 1. Perbandingan Batas Deteksi Alkohol dalam Aplikasi Biosensor

Biosensor Berbasis	Batas Deteksi	Sensitifitas	Referensi
<i>Sparfloxacin-Capped Gold Nano-particle</i>	25-350 um	Tinggi	Magesh, <i>et al.</i> , 2023
<i>Enzim Amperometrik</i>	0.01% hingga 0.1% (100-1000 mg/dL)	Sedang	Hooda, Kumar, Gahlaut, & Hooda, 2017
<i>Wearable Electrochemical Alcohol Biosensor</i>	0,1-1,0 g/dL	Rendah	Costa, <i>et al.</i> , 2022
<i>Breathalyzer</i>	0,01% hingga 0,2% (100-2000 mg/dL)	Sedang	Bihar, <i>et al.</i> , 2016

Biosensor berbasis nanoparticle Sp-AuNPs memiliki sensitivitas lebih tinggi dikarenakan partikel nano memiliki luas permukaan yang luas dan stabil dari agen Sp sehingga senyawa alkohol dapat berikatan dengan partikel nano lebih tinggi.

4. SIMPULAN

Biosensor deteksi alkohol digunakan untuk mendeteksi alkohol dalam specimen biologis seperti saliva, darah, dan keringat. Elemen biorekognisi yang dapat mengenali specimen biologis dalam kajian ini meliputi *Sparfloxacin-Capped Gold Nanoparticle*, Enzim

amperometrik yaitu alkohol dehidrogenase (AOX), alkohol dehidrogenase (ADH), breathalyzer dan w Wearable electrochemical alcohol biosensor. Berdasarkan hasil kajian biosensor berbasis *Sparfloxacin-Capped Gold Nanoparticle* memiliki kemampuan deteksi yang sangat menunjukkan sensitivitas yang sangat baik untuk penentuan konsentrasi alkohol dengan kecepatan deteksi mencapai 25 hingga 350 μM . Sensitivitas ini lebih tinggi dibandingkan dengan biosensor berbasis Enzim amperometrik dan bagian Hasna. Tetapi, kemampuan deteksi pada biosensor amperometrik dan breathalyzer tetap menunjukkan sensitivitas yang tinggi untuk penentuan alkohol. Pada biosensor Enzim amperometrik batas deteksi dapat mencapai 0.01% hingga 0.1% (100-1000 mg/dL) yang cukup sensitive untuk dijadikan sebagai biosensor dalam deteksi alkohol. Wearable electrochemical alcohol biosensor memiliki batas deteksi kisaran 0,1-1,0 g/dL sedangkan Breathalyzer batas deteksi kadar etanol dalam napas setara dengan kadar alkohol dalam darah (BAC) dari 0,01% hingga 0,2% (100-2000 mg/dL).

DAFTAR PUSTAKA

- Alan, W., & Jones. (2019). Blood alcohol concentration in the clinical laboratory: a narrative review of the preanalytical phase in diagnostic and forensic testing. *Wiley Interdisciplinary Reviews*, 1(6), 1-32.
- Bihar, E., Deng, Y., Miyake, T., Saadaoui, M., Malliaras, G. G., and Rolandi, M. (2016). A Disposable Paper Breathalyzer With a Alcohol Sensing Organic Electrochemical Transistor. *Scientific Reports*, 6(27582), 1-6.
- Campbell, A. S., Jayoung, K., and Joseph, W. (2018). Wearable Electrochemical Alcohol Biosensors. *Elsevier*, 1-19.
- Cherpitel, C. (2022). Alcohol and injuries: a review of international emergency room studies. *Wiley Online Library*, 88 (7), 923-937.
- Costa, N. G., Antunes, J. C., Paleo, A. J., and Rocha, A. M. (2022). A Review on Flexible Electrochemical Biosensors to Monitor Alcohol in Sweat. *Biosensors*, 12(252), 1-20.
- Efekhari, M., Schwarzenberger, K., & Eckert, K. (2020). The Influence of Negatively Charged Silica Nanoparticles on the Surface Properties of Anionic Surfactants: Electrostatic Repulsion or the Effect of Ionic Strength? *Phys Chem*, 22, 2238-2248.
- Gupta, R., & Padmanabhan, P. (2018). Biogenic Synthesis and Characterization of Gold Nanoparticles by a Novel Marine Bacteria *Marinobacter Algalicola*: Progression from Nanospheres to Various Geometrical Shapes. *Journal Microbiol Biotechnol Food Sci*, 8, 732-741.
- Hooda, V., Kumar, V., Gahlaut, A., & Hooda, V. (2017). Alcohol quantification : recent insights into amperometric enzyme biosensor. *Artificial Cells, Nanomedicine and Biotechnology*, 46(2), 398-410.
- Jaiswal, A., Madaan, S., Acarya, N., & Kumar, S. (2021). Salivary Uric Acid: A Noninvasive Wonder for Clinicians? *Cureus. Arch Biol*, 13-20.
- Jalal, A., Arbabi, S., Ahad, M., Alam, F., & Ahmed, M. (2024). Wearable Alcohol Monitoring Device for the Data-Driven Transcutaneous Alcohol Diffusion Model. *Sensor MDPI*, 24(13), 1-17.
- Jones, A. (2019). Wearable Alcohol Monitoring Device for the Data-Driven Transcutaneous Alcohol Diffusion Model. *Wires Forensic Science*, 2, 1-32.
- Lalongo, C. (2023). Blood alcohol concentration in the clinical laboratory: a narrative review of the pre-analytical phase in diagnostic and forensic testing. *Biochemia Medica*, 34(1), 1-18.
- Lansdorp, B., Ramsay, W., Hamid, R., and Strenk, E. (2019). Wearable Enzymatic Alcohol Biosensor. *SENSORS*, 19(2380), 1-11.
- Luo, S., Wang, R., Wang, L., Qu, H., and Zheng, L. (2022). Breath Alcohol Sensor Based on Hydrogel-Gated graphene Field-Effect Transistor. *Biosensors and Bioelectronics*, 210.
- Magesh, V., Kothari, V., Ganapathy, D., Atuchudan, R., Arya, S., Nallaswamy, D., & Sundramoorthy, A. (2023). Using Sparfloxacin-Capped Gold Nanoparticles to Modify a Screen-Printed Carbon Electrode Sensor for Ethanol Determination. *Sensor MDPI*, 23(19), 1-20.
- Martin, R., Alessi, S., & Boudreaux, E. (2021). Alcohol Use Disorder in the Age of Technology: A Review of Wearable Biosensors in Alcohol Use Disorder Treatment. *Frontiers*, 12, 1-8.
- Meelike, B. (2016). Biosensor Application of Screen printed carbon electrodes modified with nanomaterials and conducting polymer. Ethanol Biosensor based on Alcohol dehydrogenase. *Sens Actual*, 6, 164-170.
- Peng, W., Li, S., Hui, G., Su, M., Zhou, Y., Ding, Z., . . . Yu, C. (2025). Non-invasive alcohol biosensor based on gold nanoparticles and carbon nanotubes network for dynamic monitoring of sweat alcohol. *Bioelectrochemistry*, 164, 1-32.
- Rao, Madhusudhana, T., Shyam, D., Pratibha, R., Natesan, A., & Herald, S. (2015). Detection of alcohol in saliva for blood alcohol concentration using alcohol saliva strip test. *Journal of Dr. NTR University of Health Sciences*, 4(1), 24-30.
- Xaba, T., Moloto, M., Al-shakban, Malik, M., Moloto, N., & Brien, O. (2017). The Influences of the Concentrations of "Green Capping Agents" as Stabilizers and of Ammonia as an Activator in the Synthesis of ZnS Nanoparticles and Their Polymer Nanocomposites. *Journal Green Proces*, 6, 173-182.
- Yu, Y., Zhai, M., and Hu, J. (2019). Electrocatalytic Oxidation of Ethanol and Ethylene Glycol on Bimetallic Ni and Ti Nanoparticle-Modified Indium Tin Oxide Electrode in Alkaline Solution. *Prog. Nat. Sci. Mater. Int.*, 29, 511-516.