



Review: Teknologi Biosensor dalam Mendeteksi Senyawa Antidiabetes pada Tanaman

Review: Biosensor Technology in Detecting Antidiabetic Compounds in Plants

Muhammad Farid Maksum^{1*}, Nurhaifa Azzahra¹, Nelis Hernahadini¹

¹ Departemen Bioteknologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Bandung

*Corresponding author: Jalan Soekarno-Hatta No. 752 Kota Bandung, Provinsi Jawa Barat, 40614, Indonesia.

E-mail addresses: faridmaksumm@gmail.com

2025 BIODIVERSE: Jurnal Biodiversitas dan Bioteknologi

Abstract

Type 2 diabetes is a serious, widespread health problem worldwide that causes reduced quality of life, mortality, mortality and significant economic burden. The high number of diabetes sufferers in Indonesia has encouraged the development of anti-diabetic drugs, including those derived from plants used as traditional medicine. The role of biosensors in detecting antidiabetic compounds in plants is very important because they can provide fast, accurate and sensitive methods for biochemical analysis. The purpose of this review is to provide an overview of biosensor technology used for detecting antidiabetic compounds in plant leaves by discussing the general principles of biosensors, their mechanisms using electrochemical biosensor devices, paper-based biosensors, and microzone plastic-based biosensors. The literature study was carried out by searching articles from various leading journal databases, such as PubMed, Google Scholar, and ResearchGate. A review was carried out regarding biosensor devices as anti-diabetic compound detectors with three technical types, namely electrochemical, paperbased and microzone plastic-based. Based on sensitivity and other advantages, microzone plastic-based biosensors are the best biosensors compared to the other two biosensors. The use of microzone plastic-based biosensors is also very simple, requiring only the placement of the sample on the detection area, after which the compound can be detected through the scanner/sensor features embedded in the device.

Article info

Article history:

Received : 07 August 2024

Revised : 12 December 2024

Accepted : 29 December 2025

Available online : 31 December 2025

Keywords:

antidiabetic

biosensor

plant

1. PENDAHULUAN

Diabetes tipe 2 merupakan masalah kesehatan serius yang tersebar luas di seluruh dunia yang menyebabkan penurunan kualitas hidup, kematian, kecacatan, dan beban ekonomi yang signifikan [1][2][3]. Gangguan dalam metabolisme glukosa adalah faktor utama yang memicu kondisi ini [4][5]. Untuk mengobati diabetes, berbagai obat antidiabetik oral digunakan [6]. Inhibitor seperti α -glukosidase (AG) dan α -amilase (AA) termasuk dalam kategori obat

antidiabetes yang membantu mengatur lonjakan kadar gula darah setelah makan. α -amilase menguraikan polisakarida menjadi oligosakarida, sedangkan α -glukosidase mengkatalisis akhir pemecahan karbohidrat menjadi monosakarida yang dapat diserap. Kedua enzim ini memainkan peran penting dalam pencernaan di usus kecil, dengan AA juga ditemukan di saliva [7]. Penghambatan aktivitas keduanya menjadi kunci dalam pengelolaan diabetes tipe 2.

Beberapa agen antidiabetes seperti acarbose, miglitol, dan voglibose bekerja dengan cara menghambat enzim-enzim ini [6], walaupun penggunaan jangka panjang dapat menyebabkan efek samping seperti kembung, diare, dan masalah kesehatan lainnya [8][4][9][10]. Selain itu, obat-obatan ini juga mahal dan sulit diakses, terutama di daerah pedesaan di negara-negara berkembang. Tingginya jumlah penderita diabetes di Indonesia mendorong pengembangan obat antidiabetes, termasuk yang berasal dari tumbuhan yang digunakan sebagai obat tradisional. Masyarakat umumnya memilih tanaman sebagai pengobatan diabetes karena efek sampingnya lebih rendah dan biayanya lebih murah [11]. Bahkan pada artikel [20] telah muncul teknologi untuk mendeteksi diabetes melalui pendekatan nanoteknologi.

Biosensor adalah perangkat yang mampu mengukur reaksi biologis dengan menghasilkan sinyal yang sebanding dengan konsentrasi analit dalam suatu reaksi [12]. Biosensor memiliki beberapa keunggulan, antara lain desain yang sederhana, kemudahan pembuatan, penggunaan yang tidak memerlukan keterampilan khusus, serta sensitivitas yang tinggi. Selain itu, biaya instrumentasi biosensor relatif lebih rendah [13]. Peran biosensor dalam mendeteksi senyawa antidiabetes pada tanaman sangat penting karena dapat menyediakan metode yang cepat, akurat, dan sensitif untuk analisis biokimia. Keunggulan-keunggulan ini menjadikan biosensor sebagai alat yang efisien dan efektif dalam penelitian dan pengembangan obat antidiabetes berbasis tanaman.

Tujuan dari review ini adalah untuk memberikan gambaran umum tentang teknologi biosensor yang digunakan untuk mendeteksi senyawa antidiabetes pada daun tanaman dengan membahas prinsip umum biosensor, cara kerjanya dengan alat biosensor elektrokimia, biosensor berbasis kertas, dan biosensor berbasis plastik zona mikro.

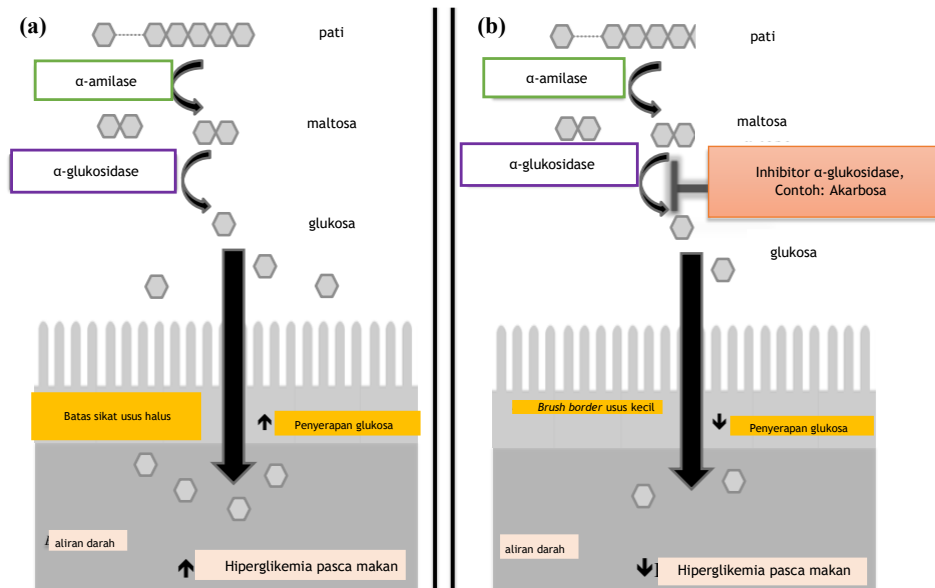
2. METODE

Studi literatur dimulai dengan melakukan pencarian artikel dari berbagai basis data jurnal terkemuka, seperti PubMed, Google Scholar, dan ResearchGate. Artikel-artikel yang relevan kemudian dipilih berdasarkan kriteria yang sesuai dengan topik dan tujuan artikel review ini. Setelah itu, hasil pencarian dirangkum untuk menyajikan analisis yang komprehensif dan terstruktur mengenai topik yang diteliti.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Prinsip Umum Biosensor dalam Identifikasi Senyawa Antidiabetes

Mengidentifikasi tanaman yang memiliki senyawa antidiabetes dilakukan dengan menguji kemampuan tanaman tersebut dalam menghambat aktivitas α -glukosidase (AG) dan α -amilase (AA). AA adalah enzim metalo kalsium yang mengkatalisis hidrolisis ikatan glikosidik alfa-1,4 pada pati, amilosa, amilopektin, glikogen, dan berbagai maltodekstrin yang bertanggung jawab untuk sebagian besar pencernaan pati pada manusia. AG terletak di membran permukaan sel usus dan mengkatalisis langkah akhir pencernaan karbohidrat dengan bekerja pada ikatan 1,4 alfa untuk menghasilkan glukosa yang disalurkan ke dalam darah. Penghambatan aktivitas AA dan AG dalam saluran pencernaan manusia memperlambat penyerapan glukosa dan dapat menjadi strategi penting untuk mengontrol kadar glukosa postprandial pada pasien diabetes [14][15].

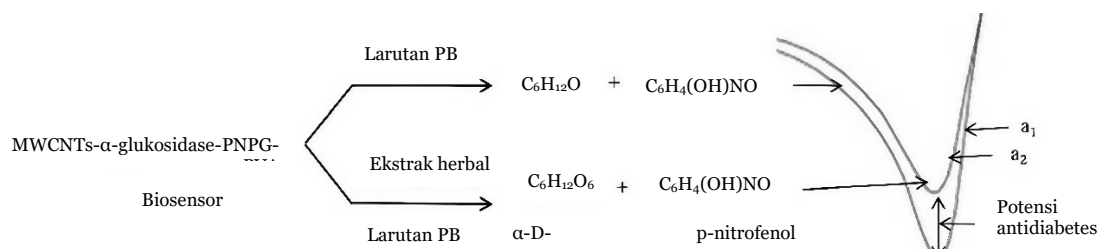


Gambar 1. Mekanisme hidrolisis karbohidrat oleh enzim α-glukosidase (a) dan inhibisi enzim (b) [14].

3.2. Biosensor menggunakan enzim α-glukosidase

Pada biosensor ini enzim AG diikat secara kovalen pada MWCNTs-NH₂ menggunakan EDC sebagai agen penggabungan yang dikatalisis oleh NHS, meningkatkan efisiensi imobilisasi untuk mengukur potensi antidiabetes tanaman obat dengan metode elektrokimia. Enzim AG yang terimobilisasi bersama PNPG sebagai substrat ditangkap dalam PVA dan diaplikasikan pada SPCE untuk pengembangan biosensor. PVA, sebagai polimer sintetis biokompatibel dan ekonomis, banyak digunakan sebagai matriks untuk imobilisasi enzim [17].

Prinsip deteksi melibatkan pengukuran kemampuan ekstrak tanaman obat dan obat antidiabetes komersial untuk menghambat enzim AG dan reaksi hidrolisis PNPG, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. PNPG dihidrolisis oleh enzim AG dalam buffer fosfat 0,1 M (PB) di biosensor untuk menghasilkan p-nitrofenol (*p*-NP) (Gambar 2). Pengukuran *p*-NP yang terlepas dilakukan secara elektrokimia dengan metode CV. Ekstrak tanaman obat atau obat antidiabetes sintetis menghambat reaksi hidrolisis ini, mengurangi jumlah *p*-NP yang terlepas. Perbedaan dalam *p*-NP yang terlepas dari reaksi tanpa hambatan (a₁) dan dengan hambatan (a₂) mencerminkan potensi antidiabetes dari ekstrak tanaman obat atau obat tersebut. Puncak reduksi *p*-NP digunakan untuk mengevaluasi potensi antidiabetes dalam prinsip reaksi ini [17].



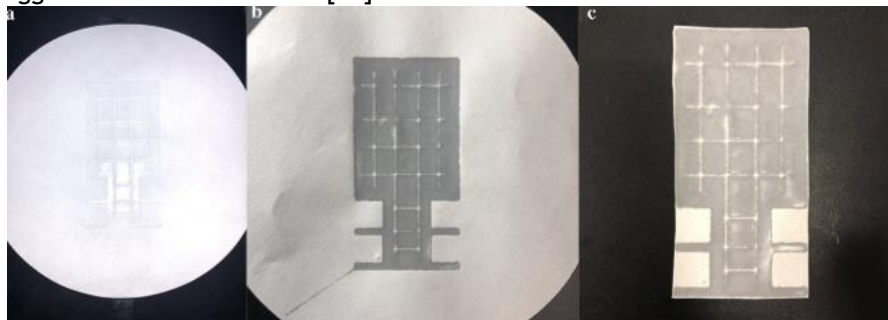
Gambar 2. Prinsip reaksi untuk pengukuran potensi antidiabetes dari ekstrak tanaman obat menggunakan biosensor melalui metode CV [16].

Sensitivitas biosensor yang baik dalam mendeteksi penghambatan aktivitas enzim oleh ekstrak tanaman terlihat dari kemiringan kurva kalibrasi, dengan nilai sebesar 1,037 μA/mL ekstrak tanaman. Penghambatan aktivitas enzim minimum diperkirakan pada konsentrasi 0,5 mg/mL ekstrak tanaman, menghasilkan arus sebesar 0,437 μA [17]. Biosensor ini menawarkan beberapa keuntungan untuk skrining tanaman obat untuk sifat antidiabetik. Sensor ini tidak terpengaruh oleh warna ekstrak tanaman, memberikan hasil cepat dalam waktu 22 detik, bisa digunakan sekali pakai untuk memeriksa kualitas

tanaman obat langsung di tempat, dan cara menggunakannya sangat mudah. Biosensor ini membutuhkan larutan penyangga spesifik untuk fungsinya, namun larutan ini dapat disertakan bersama perangkat sehingga pengguna tidak perlu menyiapkan sendiri. Selain itu, biosensor ini mudah dibuat menggunakan bahan yang tidak beracun, sehingga ramah lingkungan [17].

3.3. Biosensor berbasis kertas

Biosensor kertas ini dibuat dengan modifikasi polikaprolakton-kitosan. Pemilihan polikaprolakton tersebut berdasarkan hidrofobisitasnya, kemampuan biodegradasi, dan titik lelehnya yang menjadikan parameter tersebut sebagai keunggulan dalam dibuatnya biosensor kertas. Dalam perancangannya, biosensor kertas dibentuk menjadi persegi panjang (Gambar 3), bagian yang dimodifikasi polikaprolakton merupakan daerah hidrofobik sebagai batas untuk cairan di area hidrofilik dan memudahkan pemahaman dalam penggunaan biosensor kertas [13].



Gambar 3. Biosensor berbasis kertas [13].

Adanya panas dapat membuat polikaprolakton menjadi menyusut, sehingga garis yang dibuat dirancang untuk menghindari deformasi kertas. Dibandingkan antara kromatogram positif dan blanko, alpha glukosidase terimobilisasi dapat mengadsorpsi secara spesifik senyawa aktif dari ekstrak daun yang digunakan. Jika nilai A1/A2 dari suatu senyawa mendekati 100%, sulit untuk diketahui apakah senyawa benar-benar teradsorpsi atau tidak [13].

Tidak adanya senyawa yang teradsorpsi dapat diakibatkan oleh enzim yang menutupi sisi adsorpsi sehingga terjadi penurunan adsorpsi non-spesifik. Adsorpsi non-spesifik hanya terdapat pada kertas, bukan pada alpha glukosidase. Sehingga perlu pertimbangan dalam pemilihan senyawa dengan adsorpsi non-spesifik [13].

Beberapa metode lain telah diuji untuk dapat mengurangi adsorpsi non-spesifik, seperti natrium periodat yang dapat mengubah gugus hidroksil pada selulosa yang terdapat dalam kertas menjadi gugus aldehida. Gugus tersebut dapat berfungsi untuk melumpuhkan enzim. Selain itu, natrium periodat juga dapat dicuci dengan mudah. Sehingga jika tanpa kitosan, adsorpsi nonspesifik akan berkurang [13]. Mikropelat kertas dengan enzim terimobilisasi ini memungkinkan deteksi beragam senyawa yang dapat berinteraksi dengan enzim α -glukosidase, tidak terbatas pada senyawa dengan aktivitas antidiabetes saja. Biosensor ini dapat digunakan sebagai alat skrining awal untuk mengidentifikasi berbagai senyawa bioaktif yang terkandung dalam ekstrak tumbuhan [13].

3.4. Biosensor berbasis plastik zona mikro

Mekanisme yang digunakan pada biosensor ini melibatkan inhibisi enzim α -glukosidase, di mana senyawa antidiabetes potensial dari tanaman akan berikatan dengan sisi aktif enzim tersebut. Akibatnya, jumlah *p*-nitrofenil α -D-glukopiranosida (PNPG) yang diubah menjadi *p*-Nitrofenol (*p*-NP) akan berkurang. Hal ini yang menyebabkan semakin besar potensi antidiabetes dari suatu tanaman, semakin memudar warna kuning yang biasanya dihasilkan [18]. *p*-NP merupakan produk berwarna kuning hasil katalisis α -glukosidase terhadap substrat PNPG [19].



Gambar 3. Desain biosensor berbasis mikroplastik [15].

Alat biosensor ini melibatkan imobilisasi 1 μL enzim α -glukosidase dengan konsentrasi 4 Unit/mL yang kemudian dikeringkan dan direaksikan dengan 1,5 μL larutan uji, 3,7 μL PNPG, dan 15 μL Na_2CO_3 [18]. Biosensor yang dikembangkan ini memiliki batas deteksi terendah sebesar 1109,6 $\mu\text{g/mL}$ dan batas kuantitasi terendah sebesar 3698,8 $\mu\text{g/mL}$. Biosensor ini menawarkan sejumlah keunggulan. Salah satu keunggulan utamanya adalah harga yang lebih terjangkau dibandingkan dengan metode analisis konvensional lainnya. Selain itu, penggunaan biosensor ini juga sangat sederhana, pengguna hanya perlu meletakkan sampel pada area deteksi dan kemudian memindainya menggunakan scanner. Desain biosensor yang tipis dan fleksibel memungkinkan analisis dilakukan dengan mudah dan cepat [18].

Salah satu fitur inovatif dari biosensor ini adalah desainnya yang terdiri dari tiga area deteksi. Hal ini memungkinkan peneliti untuk melakukan pengujian pada berbagai konsentrasi sampel secara simultan, sehingga meningkatkan efisiensi penelitian. Kemampuan biosensor untuk digunakan secara berulang juga merupakan nilai tambah yang signifikan. Dengan hanya mengganti lapisan plastik alas, biosensor dapat digunakan kembali, sehingga mengurangi biaya operasional [18].

Uji stabilitas biosensor menunjukkan hasil yang baik. Meskipun terjadi penurunan sedikit pada intensitas warna setelah penyimpanan dalam jangka waktu tertentu, baik pada suhu ruang maupun suhu dingin, secara keseluruhan biosensor tetap dapat diandalkan untuk digunakan dalam jangka waktu yang cukup lama [18]. Secara keseluruhan, biosensor plastik yang baru dikembangkan ini dapat digunakan untuk menguji kandungan antidiabetes pada tanaman obat secara cepat dan akurat. Namun, masih perlu penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan cara ekstraksi tanaman dan cara menempelkan enzim pada sensor agar sensor bisa digunakan lebih lama [18].

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian identifikasi senyawa antidiabetes dengan enzim α -glukosidase, biosensor berbasis kertas, dan biosensor berbasis plastik zona mikro, biosensor yang memiliki sensitifitas yang baik dan dilihat dari berbagai keunggulan lainnya adalah biosensor berbasis plastik zona mikro. Selain merupakan alat yang mudah digunakan dalam deteksi senyawa antidiabetes, biosensor ini memiliki harga yang relatif murah dan praktis dibandingkan dengan biosensor lainnya.

5. DAFTAR REFERENSI

- [1] M. Janghorbani, R.M. Van Dam, W.C. Willett, dan F.B. Hu. 2007. "Systematic review of type 1 and type 2 diabetes mellitus and risk of fracture". *Am. J. Epidemiol.* 166, 495-505.
- [2] M. Barkaoui, A. Katiri, H. Boubaker, dan F. Msanda. 2017. "Ethnobotanical survey of medicinal plants used in the traditional treatment of diabetes in Chtouka Ait Baha and Tiznit (Western Anti-Atlas)". *Morocco. J. Ethnopharmacol.*
- [3] K.C. Chinsembu. 2019. "Diabetes mellitus and nature's pharmacy of putative antidiabetic plants". *J. Herb. Med.* vol. 15.

- [4] H.Y. Hung, K. Qian, S.L. Morris-Natschke, C.S. Hsu, dan K.H. Lee. 2012. "Recent discovery of plant-derived anti-diabetic natural products". *Nat. Prod. Rep.* vol. 29, pp. 580-606.
- [5] S. Kasturi, S. Surarapu, S. Uppalanchi, J.S. Anireddy, S. Dwivedi, H.S. Anantaramu, Y. Perumal, D.K. Sigalapalli, B.N. Babu, dan K.S. Ethiraj. 2017. "Synthesis and α -glucosidase inhibition activity of dihydroxy pyrrolidines". *Bioorganic Med. Chem. Lett.* vol. 27, pp. 2818-2823.
- [6] S. Amjad, A. Jafri, A.K. Sharma, dan M. Serajuddin. 2019. "A novel strategy of nanotized herbal drugs and their delivery in the treatment of diabetes: Present status and future prospects". *J. Herb. Med.* 100279.
- [7] K.Y. Loo, K.H. Leong, Y. Sivasothy, H. Ibrahim, dan K. Awang. 2019. "Molecular insight and mode of inhibition of α -glucosidase and α -Amylase by pahangensin A from *Alpinia pahangensis* Ridl". *Chem. Biodivers.*
- [8] C.F. Deacon. 2011. "Dipeptidyl peptidase-4 inhibitors in the treatment of type 2 diabetes: a comparative review". *Diabetes, Obes. Metab.* vol. 13, pp. 7-18.
- [9] A. Elbermawi, A.F. Halim, E.S. Mansour, K.F. Ahmad, A. Ashour, Y. Amen, K. Shimizu, K., A. Elbermawi, A.F. Halim, E.S. Mansour, dan F. Kadria. 2019. "A New Glucoside With a Potent α glucosidase Inhibitory Activity From *Lycium schweinfurthii*".
- [10] G. Abbas, A. Al Harrasi, H. Hussain, A. Hamaed, dan C.T. Supuran. 2019. "The management of diabetes mellitus-imperative role of natural products against dipeptidyl peptidase-4, α -glucosidase and sodium-dependent glucose co-transporter 2 (SGLT2)". *Bioorg. Chem.* vol. 86, pp. 305-315.
- [11] R.S. Margono, dan T. Sumiati. 2019. "Potensi Tanaman Indonesia sebagai Antidiabetes melalui Mekanisme Penghambatan Enzim α -glukosidase".
- [12] M. Mohiuddin, D. Arbain, A.K.M.S. Islam, M.S. Ahmad, dan M.N. Ahmad. 2016. "Alpha-Glucosidase Enzyme Biosensor for the Electrochemical Measurement of Antidiabetic Potential of Medicinal Plants". *Nanoscale Res Lett.* vol. 11 no. 1, pp. 1-12.
- [13] S. Guo, X. Lin, Y. Wang, dan X. Gong. 2019. "Fabrication of paper-based enzyme immobilized microarray by 3D-printing technique for screening α -glucosidase inhibitors in mulberry leaves and lotus leaves". *Chinese Med (United Kingdom)*. vol. 14 no. 1, pp. 1-11.
- [14] M.I. Kazeem, dan A.O.T. Ashafa. 2015. "In-vitro antioxidant and antidiabetic potentials of *Dianthus basuticus* Burt & Davy whole plant extracts". *J. Herb. Med.* 5, pp. 158-164.
- [15] K. Sayah, I. Marmouzi, H.N. Mrabti, Y. Cherrah, dan M.E.A. Faouzi, 2017. "Antioxidant Activity and Inhibitory Potential of *Cistus salvifolius* (L.) and *Cistus monspeliensis* (L.) Aerial Parts Extracts against Key Enzymes Linked to Hyperglycemia". *Biomed Res. Int.*
- [16] S. Astriningtyas. 2015. "Search for α glucosidase inhibitors from Indonesian indigenous plants". Hokkaido University.
- [17] Mohiuddin, M., Arbain, D., Islam, A. K., Ahmad, M. S., & Ahmad, M. N. (2016). Alpha-Glucosidase Enzyme Biosensor for the Electrochemical Measurement of Antidiabetic Potential of Medicinal Plants. *Nanoscale research letters*, 11(1), 95.
- [18] F.I. Wati, B. Kuswandi, dan D.K. Pratoko. 2021. "Pengembangan Biosensor Berbasis Plastik Zona Mikro untuk Skrining Aktivitas Antidiabetes pada Ekstrak Tanaman Obat". *e-Journal Pustaka Kesehatan*. vol. 9 no. 1, pp. 41-47.
- [19] A. Kawamura, dan T. Miyata. 2016. "Biosensors: An Overview. In: *Biomaterials Nanoarchitectonics*". Osaka: Kansai University. pp. 157-76.
- [20] A. Shoaib, A. Darraj, M.E. Khan, L. Azmi, A. Alalwan, O. Alamri, M. Tabish, dan A.U. Khan. 2023. "A Nanotechnology-Based Approach to Biosensor Application in Current Diabetes Management Practices". *Nanomaterials*. vol. 13, no. 5, pp. 1-21.