



Aplikasi Biosensor dalam Deteksi Penyakit Sifilis: Tinjauan Literatur Biosensor Application in Detecting Syphilis Disease: Literature Review

Adyttia Indra Gunawan¹, Almaydha Naim Sulasikin^{1*}

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: almaydhans02@gmail.com

2026 BIODIVERSE: Jurnal Biodiversitas dan Bioteknologi

Abstract

Syphilis is a sexually transmitted infection caused by *Treponema pallidum* and remains a major global health challenge, particularly in areas with limited access to healthcare services. Early diagnosis is essential to prevent transmission and severe complications. This study aimed to review recent scientific literature regarding the application of biosensors for syphilis detection, including their working principles, diagnostic performance, advantages, and limitations. A literature review was conducted using publications retrieved from PubMed, ScienceDirect, and Google Scholar with predefined search strategies and selection criteria. Biosensors, particularly lateral flow immunoassay-based Rapid Diagnostic Tests (RDTs), provide rapid, affordable, and user-friendly diagnostic approaches suitable for early screening and point-of-care testing (POCT). Electrochemical and optical biosensors demonstrate superior analytical sensitivity and promising potential for future clinical applications. Nevertheless, several challenges remain, including limited differentiation between active and past infections, the need for local validation, and relatively high instrumentation costs for advanced biosensors. Overall, biosensor technology offers considerable potential to improve syphilis diagnosis, especially in resource-limited settings.

Article info

Article history:

Received : 04 February 2026

Revised : 27 June 2026

Accepted : 28 June 2026

Available online : 31 August 2026

Keywords:

Biosensor

POCT

RDT

Treponema pallidum

Vaccine Syphilis

1. PENDAHULUAN

Sifilis merupakan infeksi menular seksual (IMS) yang disebabkan oleh bakteri *Treponema pallidum*, bakteri kemoorganotrof tak berpigmen dari filum Spirochaetes yang berbentuk heliks/spiral yang sangat patogen dan mampu menembus berbagai jaringan tubuh manusia. Penyakit ini telah menjadi masalah kesehatan masyarakat global. Penyakit ini juga dapat menyebabkan komplikasi berat seperti kebutaan, kelumpuhan, kerusakan kardiovaskular, dan transmisi vertikal dari ibu ke janin jika tidak segera ditangani [1]. Menurut data dari *World Health Organization* (WHO), lebih dari 7 juta kasus baru sifilis terjadi setiap tahun di seluruh dunia, dan lebih dari 350.000 bayi lahir dengan sifilis kongenital pada tahun 2016, mengakibatkan lebih dari

200.000 kematian bayi atau lahir mati (*stillbirth*) [2]. Di Indonesia, Kementerian Kesehatan melaporkan bahwa kasus sifilis meningkat hampir dua kali lipat dari 12.000 pada tahun 2016 menjadi lebih dari 20.000 kasus pada tahun 2022, dengan peningkatan tajam pada kelompok usia 25-49 tahun [1].

Penularan sifilis umumnya terjadi melalui kontak seksual langsung. Penularan bisa melalui genito-genital, oro-genital, maupun ano-genital, serta dapat menular dari ibu ke janin selama kehamilan (transmisi vertikal). Penularan non-seksual seperti melalui transfusi darah jarang terjadi karena adanya proses skrining darah yang ketat [3]. Gejala sifilis berkembang melalui empat tahap, yaitu sifilis primer yang ditandai dengan munculnya luka tidak nyeri di area infeksi; sifilis sekunder yang menyebabkan ruam kulit, demam, dan limfadenopati; sifilis laten merupakan fase asimtomatik yang dapat berlangsung bertahun-tahun; sifilis tersier yang dapat menyebabkan kerusakan otak, jantung, serta organ vital lainnya. Sifilis tahap tersier muncul pada 15-30% penderita yang tidak diobati. Diagnosis dini sangat penting karena bakteri *T. pallidum* tidak dapat dibudidayakan dalam medium kultur biasa dan gejalanya sering tidak khas [4].

Berbagai metode diagnostik telah dikembangkan, seperti uji *non-treponemal* (VDRL dan RPR) untuk skrining awal dan pemantauan pengobatan; uji *treponemal* (TPHA dan FTA-ABS) untuk konfirmasi infeksi; PCR untuk deteksi langsung DNA *T. pallidum* dari lesi; *Rapid Diagnostic Test* (RDT) berbasis *lateral flow immunoassay*, deteksi antibodi IgM/IgG dalam darah atau serum. Namun, metode-metode ini seringkali membutuhkan laboratorium, sumber daya manusia terlatih, dan waktu yang tidak sedikit. Di wilayah dengan akses kesehatan terbatas, hal ini menjadi tantangan besar dalam upaya diagnosis dan pengendalian penyakit sifilis [5]. Oleh karena itu, dengan mempertimbangkan beban penyakit sifilis secara global dan nasional, serta keterbatasan deteksi di daerah terpencil, pemanfaatan biosensor sebagai alat diagnostik alternatif menjadi sangat penting. Artikel ini bertujuan untuk mengulas perkembangan, prinsip kerja, efektivitas, keunggulan, serta tantangan penggunaan biosensor dalam deteksi penyakit sifilis berdasarkan literatur ilmiah.

2. METODE

Metode penelitian yang digunakan dalam studi ini adalah penelaahan pustaka (*literature review*). Literatur dikumpulkan dari basis data ilmiah PubMed, ScienceDirect, dan Google Scholar menggunakan sintaks pencarian dengan *operator Boolean* sebagai berikut: ("*biosensor*" OR "*rapid diagnostic test*" OR "*point-of-care testing*" OR "POCT" OR "*lateral flow immunoassay*") AND ("*syphilis*" OR "*Treponema pallidum*"). Pencarian dibatasi pada artikel yang dipublikasikan dalam rentang tahun 2016-2026, berbahasa Inggris maupun Indonesia, serta membahas penerapan biosensor untuk diagnosis sifilis.

Proses pencarian awal menghasilkan 26 artikel. Setelah dilakukan penghapusan artikel duplikat dan penyaringan berdasarkan judul serta abstrak, diperoleh 20 artikel yang dipilih sebagai sumber utama dalam tinjauan literatur ini. Artikel-artikel tersebut dianalisis secara komparatif berdasarkan jenis biosensor yang digunakan (*lateral flow assay*, biosensor elektrokimia, dan biosensor optik), prinsip kerja, sensitivitas, spesifisitas, keunggulan, serta tantangan teknis dan implementatifnya dalam diagnosis sifilis. Pendekatan ini bertujuan memberikan pemahaman yang komprehensif mengenai potensi biosensor sebagai alat diagnostik pada berbagai tingkat pelayanan kesehatan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Konsep Dasar Biosensor untuk Sifilis

Biosensor merupakan perangkat deteksi biologis, bekerja dengan prinsip konversi interaksi biologis menjadi sinyal yang kemudian dapat dibaca secara digital atau visual. Pada deteksi penyakit sifilis, komponen biologis yang digunakan adalah antibodi spesifik terhadap bakteri *T. pallidum* atau sebaliknya, antigen spesifik yang dapat menangkap antibodi pasien. Transduser kemudian mengubah interaksi tersebut menjadi sinyal yang dapat diukur, seperti perubahan warna (*lateral flow assay*), perubahan impedansi listrik (biosensor elektrokimia), atau sinyal optik (biosensor optik) [6].

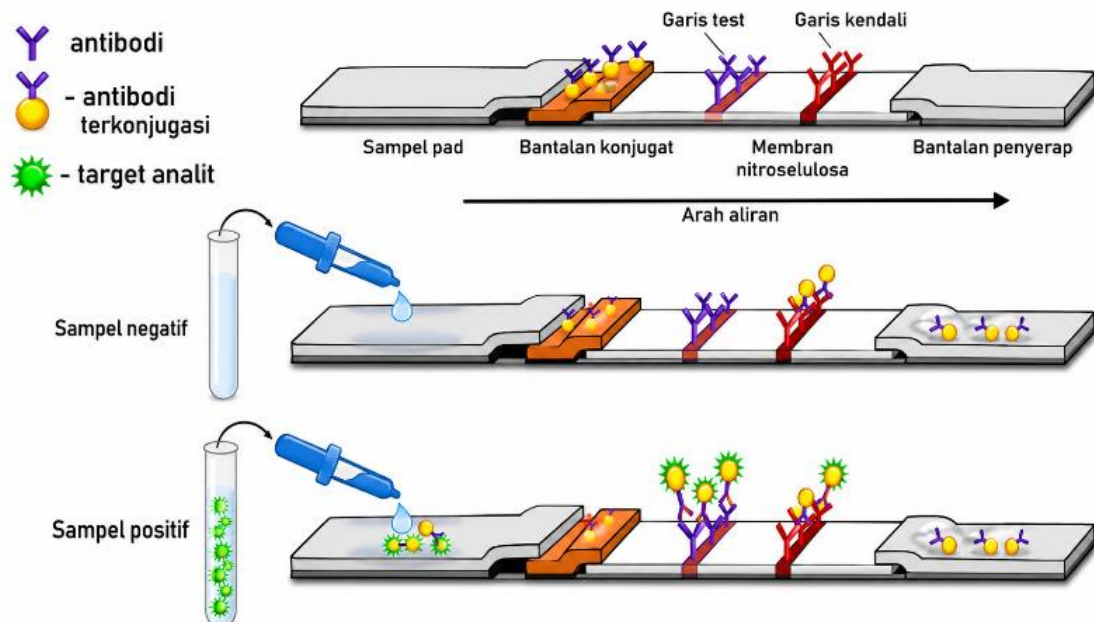
Dalam deteksi sifilis, biosensor dapat digunakan untuk mendeteksi antibodi atau antigen secara cepat dan akurat, bahkan di luar laboratorium. Keunggulan utama biosensor adalah sifatnya yang portabel, murah, mudah digunakan, dan menghasilkan hasil dalam waktu singkat, sehingga sangat ideal untuk skrining di lapangan. Selain itu, kemampuan biosensor dalam memberikan hasil secara *real-time* dengan kebutuhan volume sampel yang relatif kecil menjadikannya sebagai alternatif diagnostik yang berpotensi meningkatkan akses terhadap

layanan deteksi dini, terutama di daerah dengan keterbatasan fasilitas laboratorium dan tenaga kesehatan terlatih [7].

B. Rapid Diagnostic Test (RDT)

RDT sifilis bekerja berdasarkan prinsip *lateral flow immunoassay* (LFIA), yang mendeteksi antibodi terhadap *T. pallidum* dari sampel darah melalui interaksi antigen-antibodi yang terbaca dalam waktu 10-30 menit. Uji ini tergolong *treponemal test*, sehingga mendeteksi antibodi spesifik IgM/IgG, bukan antibodi *non-treponemal* seperti VDRL/RPR [8]. Hasil RDT sebanding dengan uji referensi seperti *Treponema pallidum Hemagglutination Assay* (TPHA). Namun, RDT tidak bisa membedakan infeksi aktif atau infeksi lama bahkan yang pasca pengobatan, karena antibodi IgG cenderung bertahan dalam waktu yang lebih lama dan tidak mencerminkan infeksi aktif, sehingga perlu konfirmasi lagi menggunakan uji lainnya [3].

Mekanisme kerja RDT sifilis berbasis *lateral flow immunoassay* (LFIA) ditunjukkan pada Gambar 1. Sampel darah ditetaskan pada area sampel pad, kemudian cairan mengalir secara kapiler melewati bantalan konjugat yang mengandung antibodi *anti-human IgM/IgG* yang telah dikonjugasikan dengan nanopartikel emas. Jika dalam sampel terdapat antibodi terhadap *T. pallidum*, maka antibodi tersebut akan membentuk kompleks dengan antibodi berlabel dan terbawa ke membran nitroselulosa. Di area garis tes, kompleks ini ditangkap oleh antigen *T. pallidum* yang terimobilisasi dan membentuk garis berwarna merah. Sementara itu, sisa konjugat akan ditangkap di garis kendali sebagai tanda validasi uji. Keberadaan satu garis menunjukkan hasil negatif sedangkan keberadaan dua garis menunjukkan hasil positif [8,9].



Gambar 1. Mekanisme kerja *lateral flow immunoassay* (LFIA) pada *Rapid Diagnostic Test* (RDT)[8]

RDT merupakan bentuk paling sederhana dari biosensor dan banyak digunakan sebagai skrining cepat. Berbagai produk RDT sifilis yang beredar di pasaran menunjukkan perbedaan dalam performa diagnostiknya pada sensitivitas dan spesifisitasnya. Perbedaan tersebut disebabkan oleh faktor desain assay, jenis antibodi atau antigen yang digunakan, fase infeksi pasien saat pengujian, serta metode pembandingan yang digunakan dalam validasi uji. Beberapa produk telah diuji secara luas dan dibandingkan dengan tes referensi seperti TPHA, FTA-ABS, dan VDRL untuk menilai akurasi dalam mendeteksi antibodi terhadap *T. pallidum* [10]. Sebagai gambaran, sensitivitas RDT umumnya lebih tinggi pada fase infeksi sekunder dan menurun pada fase laten karena kadar antibodi yang lebih rendah. Di sisi lain, spesifisitas cenderung tinggi pada sebagian besar produk dengan nilai >98%, yang menunjukkan tingkat akurasi tinggi dalam menghindari hasil positif palsu [11]. Berikut perbandingan yang bisa dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Sensitivitas dan Spesifisitas Beberapa Produk RDT Sifilis

Nama Produk	Tes Pembanding	Sensitivitas (%)	Spesifisitas (%)	Referensi
<i>SD Bioline Syphilis 3.0</i>	TPHA	90,6 - 92,5	99,4 - 99,8	[5]
<i>OnSite Syphilis Ab Combo</i>	TPHA	100	98,8 - 99,6	[12]
<i>SD BIOLINE HIV/Syphilis Duo</i>	TPHA/EIA	99,7	99,7	[13]
<i>Determine Syphilis TP</i>	TPHA/FTA-ABS	85 - 88	98,0 - 99,1	[14]
<i>First Response Syphilis Anti-TP</i>	FTA-ABS	88 - 93	98 - 99	[10]

C. Electrochemical Biosensors for Syphilis Detection

Electrochemical biosensor adalah alat diagnostik yang mengubah interaksi biologis (antara antigen *Treponema pallidum* dan antibodi/aptamer) menjadi sinyal listrik (arus, tegangan, atau impedansi) yang dapat diukur. Biosensor ini digunakan untuk mendeteksi antigen sifilis (seperti TP15, TP17, atau TP47) atau antibodi spesifik (IgG/IgM) dalam sampel darah atau serum. Perkembangan biosensor elektrokimia telah mendorong pengembangan berbagai platform diagnostik yang mampu mendeteksi antigen maupun antibodi *T. pallidum* (TP) secara cepat, sensitif, dan selektif [15].

Metode yang digunakan termasuk imunosensor berbasis antibodi dan aptasensor berbasis DNA/RNA aptamer. Cara kerjanya menggunakan tiga komponen utama, yaitu *biological recognition element* nya adalah aptamer, elektroda dan sistem pembacaan sinyal. Aptamer spesifik mengikat antigen *T. pallidum* dengan antibodi TP17 ditempelkan pada permukaan elektroda. Transduser (elektroda) mengubah interaksi biologis menjadi sinyal kimia, jenis elektroda yang digunakan adalah elektroda emas (Au) dan elektroda karbon termodifikasi dengan nanopartikel untuk meningkatkan sensitivitas. Sistem pembacaan sinyal berfungsi untuk mengukur perubahan arus (amperometri), tegangan (potensiometri), atau hambatan (impedansi) akibat ikatan antigen-antibodi. Saat antigen TP17 terdeteksi, terjadi perubahan konduktivitas yang terukur sebagai puncak arus [15]. *Electrochemical Biosensor for Syphilis Detection* memiliki keunggulan sensitivitas tinggi, dapat mendeteksi konsentrasi antigen hingga 0,1 pg/mL (lebih sensitif daripada ELISA), deteksi cepat (kurang dari 30 menit), dan potensi untuk *point-of-care testing* (POCT), antibodi/aptamer sangat spesifik terhadap antigen *T. pallidum*, mengurangi positif palsu [15].

D. Optical Biosensors for Syphilis

Optical biosensor adalah perangkat diagnostik yang menggunakan cahaya (seperti fluoresensi, absorpsi, atau resonansi plasmon permukaan) untuk mendeteksi interaksi antara antigen *Treponema pallidum* (penyebab sifilis) dan bioreseptor (antibodi, aptamer, atau DNA probe). Alat ini mengukur perubahan sifat optik saat target biologis terikat, memberikan hasil yang cepat dan sensitif. Fokus pada biosensor optik seperti *surface plasmon resonance* (SPR) dan *fluorescence-based sensors*. Menggunakan nanopartikel emas atau *quantum dots* untuk meningkatkan sinyal deteksi [15].

Optical biosensor bekerja dengan prinsip deteksi perubahan cahaya akibat ikatan antigen-antibodi sehingga cara kerjanya melibatkan: a). *Surface Plasmon Resonance* (SPR), cara kerjanya adalah cahaya laser dipantulkan pada permukaan logam (emas/perak) yang dilapisi antibodi anti-*T. pallidum*, antigen sifilis TP17 berikatan dengan antibodi, terjadi perubahan indeks refraksi yang menggeser sudut resonansi plasmon dan outputnya pergeseran sudut diukur sebagai sinyal deteksi. b). *Fluorescence-Based Biosensor*, melibatkan antibodi atau aptamer dilabeli dengan fluorofor, cara mendeteksinya menggunakan ikatan antigen-antibodi mengubah intensitas fluoresensi, ketika antigen TP47 terdeteksi, *fluoresensi quantum dots* akan menyala atau padam. Deteksi langsung antigen TP17 atau TP47 dengan limit deteksi hingga 0,1 pg/mL. c). *Colorimetric Biosensor* (Kertas *Lateral Flow*) menggunakan nanopartikel emas (berwarna merah) dilabeli antibodi, yang dideteksi adalah antigen dalam sampel darah mengikat nanopartikel, menyebabkan perubahan warna pada garis tes [15].

Keunggulan *optical biosensor* untuk deteksi sifilis adalah memiliki sensitivitas yang sangat tinggi dengan kemampuan mendeteksi konsentrasi antigen hingga 0,01 pg/mL, sehingga lebih sensitif dibandingkan metode *enzyme-linked immunosorbent assay* (ELISA) [16]. Selain itu, teknologi ini mampu melakukan deteksi secara *real-time* tanpa memerlukan proses pelabelan

(*label-free detection*), sehingga dapat mengurangi waktu analisis dan meminimalkan risiko kesalahan akibat penggunaan reagen tambahan [17,18]. Karakteristik *multiplexing* yang dimiliki juga memungkinkan deteksi beberapa biomarker atau antigen *T. pallidum*, seperti TP17 dan TP47, secara simultan menggunakan panjang gelombang yang berbeda [18]. Meskipun demikian, penerapan *optical biosensor* masih menghadapi kendala berupa kebutuhan instrumen optik yang relatif mahal, pengoperasian yang memerlukan tenaga terlatih, serta proses kalibrasi yang lebih kompleks dibandingkan biosensor berbasis *lateral flow assay*, sehingga penggunaannya saat ini lebih banyak diterapkan pada laboratorium penelitian maupun fasilitas kesehatan dengan infrastruktur yang memadai [19,20].

E. Point-of-Care (POC) Biosensor KIT untuk Sifilis

POC Biosensor KIT adalah perangkat diagnostik cepat yang dirancang untuk mendeteksi infeksi sifilis (*Treponema pallidum*) di lokasi pelayanan kesehatan (klinik, puskesmas) tanpa perlu peralatan laboratorium yang canggih. Alat ini umumnya berbentuk test strip (*lateral flow assay*) atau perangkat mikrofluida kecil yang memberikan hasil dalam waktu singkat (10-30 menit). Pengembangan biosensor mikrofluida berbasis chip memungkinkan deteksi beberapa patogen secara bersamaan dalam satu pemeriksaan dengan sensitivitas yang tinggi, sehingga berpotensi meningkatkan akurasi diagnosis penyakit infeksi, termasuk sifilis [16]. KIT komersial, seperti *SD Bioline Syphilis 3.0* dan *DPP Syphilis Screen (Chembio Diagnostic Systems)*, merupakan contoh penerapan biosensor berbasis point-of-care testing yang telah digunakan untuk deteksi sifilis dengan waktu pemeriksaan yang relatif singkat dan kemudahan pengoperasian [16], dibandingkan dengan biaya pengobatan yang lebih tinggi untuk mengatasi penyakit tersebut [29].

4. KESIMPULAN

Biosensor untuk deteksi sifilis (*Treponema pallidum*) telah berkembang dengan berbagai teknologi, masing-masing memiliki keunggulan dan aplikasi spesifik:

1. Biosensor secara umum mengubah interaksi biologis (antigen-antibodi) menjadi sinyal yang terukur (visual, listrik, atau optik), menawarkan deteksi cepat, portabel, dan akurat di luar laboratorium.
2. *Rapid Diagnostic Test* (RDT) berbasis *lateral flow* (contoh: *SD Bioline Syphilis 3.0*) sederhana dan murah, tetapi kurang sensitif untuk infeksi laten.
3. Biosensor Elektrokimia mendeteksi antigen/antibodi melalui sinyal listrik dengan sensitivitas sangat tinggi (0,1 pg/mL) dan cepat (<30 menit), ideal untuk *point-of-care testing* (POCT).
4. Biosensor Optik (SPR, fluoresensi) memberikan deteksi *real-time* dan sensitif (0,01 pg/mL), tetapi memerlukan instrumen mahal.
5. KIT POC (contoh: *DPP Syphilis Screen*) menggabungkan kecepatan RDT dengan akurasi lebih baik, cocok untuk daerah terpencil

5. DAFTAR REFERENSI

- [1] Kementerian Kesehatan RI, Profil Kesehatan Indonesia Tahun 2022. Jakarta, Indonesia: Kementerian Kesehatan RI, 2023.
- [2] World Health Organization, Global Health Sector Strategy on Sexually Transmitted Infections 2016-2021. Geneva, Switzerland: WHO, 2016.
- [3] E. W. Hook III and R. W. Peeling, "Syphilis control—A continuing challenge," *N. Engl. J. Med.*, vol. 382, no. 9, pp. 858-865, 2020. doi: 10.1056/NEJMp1914483.
- [4] L. V. Stamm, "Syphilis: Re-emergence of an old foe," *Microb. Cell*, vol. 3, no. 9, pp. 363-370, 2016. doi: 10.15698/mic2016.09.527.
- [5] J. D. Tucker, J. Bu, L. B. Brown, Y. P. Yin, X. S. Chen, and R. W. Peeling, "Accelerating worldwide syphilis screening through rapid testing: A systematic review," *Lancet Infect. Dis.*, vol. 17, no. 4, pp. 403-410, 2017. doi: 10.1016/S1473-3099(16)30558-8.
- [6] A. E. Urusov, A. V. Zherdev, and B. B. Dzantiev, "Towards lateral flow quantitative assays: Detection approaches," *Biosensors*, vol. 9, no. 3, Art. no. 89, 2019. doi: 10.3390/bios9030089.
- [7] K. Liang and W. Chen, "Smartphone-based diagnosis of infectious diseases using lateral flow assays: Integration, opportunities, and challenges," *Biosens. Bioelectron.*, vol. 170, Art. no. 112645, 2020. doi: 10.1016/j.bios.2020.112645.
- [8] H. Chang, H. Gao, M. Chen, et al., "Recent Advances in Lateral Flow Immunoassay for

- Detection of Infectious Disease Markers," *Front. Bioeng. Biotechnol.*, vol. 10, Art. no. 922772, 2022. doi: 10.3389/fbioe.2022.922772.
- [9] H. Lee, H. Chong, et al., "Point-of-care diagnosis of syphilis using lateral flow immunoassay: Current status and perspectives," *Sensors*, vol. 21, no. 2, Art. no. 647, 2021.
- [10] M. Marks, C. Y. Chen, R. Gratwicke, et al., "Evaluating the performance of rapid syphilis diagnostics: A systematic review and meta-analysis," *Clin. Infect. Dis.*, vol. 74, no. 2, pp. 256-264, 2022.
- [11] T. Hiwot, et al., "Evaluation of SD Bioline Syphilis 3.0 RDT against TPHA in Ethiopia," *BMC Infect. Dis.*, vol. 18, Art. no. 120, 2018.
- [12] Y. Hu, et al., "Development and clinical evaluation of a new rapid diagnostic test for syphilis based on gold nanoparticles," *BMC Infect. Dis.*, vol. 24, Art. no. 49, 2024.
- [13] D. Omoding, et al., "Field evaluation of dual HIV/syphilis rapid diagnostic tests in antenatal clinics in Uganda," *BMC Infect. Dis.*, vol. 21, no. 1, Art. no. 1275, 2021.
- [14] Y. Jafari, et al., "Are *Treponema pallidum* specific rapid and point-of-care tests for syphilis accurate enough for screening in resource-limited settings?" *PLoS ONE*, vol. 8, no. 2, Art. no. e54695, 2013. doi: 10.1371/journal.pone.0054695.
- [15] L. Zhang, Y. Wang, and X. Chen, "Recent Advances in Electrochemical Biosensors for the Detection of *Treponema pallidum*," *Biosens. Bioelectron.*, vol. 200, Art. no. 113899, 2022.
- [16] S. Kumar, et al., "Nanomaterial-Based Optical Biosensors for Syphilis Diagnosis," *ACS Sens.*, vol. 6, no. 4, pp. 1234-1245, 2021.
- [17] J. D. Dinnes, J. J. Deeks, R. Adriano, et al., "Rapid, point-of-care antigen and molecular-based tests for diagnosis of SARS-CoV-2 infection," *Cochrane Database Syst. Rev.*, no. 3, Art. no. CD013705, 2021. doi: 10.1002/14651858.CD013705.pub2.
- [18] J. Homola, "Surface plasmon resonance sensors for detection of chemical and biological species," *Chem. Rev.*, vol. 108, no. 2, pp. 462-493, 2008. doi: 10.1021/cr068107d.
- [19] F. S. Ligler and C. R. Taitt, *Optical Biosensors: Present and Future*. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, 2022.
- [20] D. R. Walt, "Optical methods for single molecule detection and biosensing," *Anal. Chem.*, vol. 93, no. 1, pp. 1-18, 2021. doi: 10.1021/acs.analchem.0c04744.