



INFORMASI ARTIKEL

Received: June, 05, 2025

Revised: October, 07, 2025

Available online: October, 07, 2025

at: <https://e-jurnal.ipphorr.com/index.php/hjk>

Pengembangan deteksi tuberkulosis oral berbasis teknologi canggih: Kajian komperhensif atas inovasi terkini dalam meningkatkan akurasi dan efektivitas diagnosis serta pengendalian penularan tuberkulosis (TB)

Salsabila Qotrunnada, Bayu Taruna Widjaja Putra*, Mei Syafriadi

Universitas Jember

Korespondensi penulis: Bayu Taruna Widjaja Putra. *Email: bayu@unej.ac.id

Abstract

Background: Unknowingly, many tuberculosis (TB) patients visit dentists for examinations. TB can be detected in dental practices, appearing as an oral manifestation that is rarely diagnosed without TB symptoms.

Purpose: To describe the development of advanced technology-based oral tuberculosis detection: a comprehensive review of recent innovations to improve the accuracy and effectiveness of tuberculosis (TB) diagnosis and control.

Method: This study is a narrative review aimed at providing a comprehensive understanding of oral tuberculosis (TB) detection and the role of advanced technologies, such as Artificial Intelligence (AI) and the Internet of Things (IoT), in improving diagnostic accuracy and effectiveness. This method was conducted by collecting and compiling various research findings, case reports, and scientific studies relevant to the topic of oral TB and technological innovation in the medical world.

Results: This study found that asymptomatic TB is often found in some patients, but they complain of unusual changes in the oral cavity, such as ulcers, osteomyelitis, and sore throat.

Conclusion: Diagnosing TB lesions and disease using the latest technology is fast, effective, and accurate to determine appropriate treatment immediately.

Keywords: Accuracy; Advanced Technology; Innovation; Oral Tuberculosis Detection; Tuberculosis.

Pendahuluan: Tanpa disadari, banyak pasien tuberkulosis (TB) yang datang ke dokter gigi untuk memeriksakan diri. Penyakit TB dapat ditemukan di praktik dokter gigi yang muncul sebagai manifestasi oral yang jarang sekali terdiagnosis tanpa gejala TB.

Tujuan: Untuk memaparkan pengembangan deteksi tuberkulosis oral berbasis teknologi canggih: kajian komperhensif atas inovasi terkini dalam meningkatkan akurasi dan efektivitas diagnosis serta pengendalian penularan tuberkulosis (TB).

Metode: Penelitian ini merupakan sebuah ulasan naratif (*narrative review*) yang bertujuan untuk menyajikan pemahaman komperhensif mengenai deteksi tuberkulosis (TB) oral serta peran teknologi canggih, seperti *Artificial Intelligence* (AI) dan *Internet of Things* (IoT), dalam meningkatkan akurasi dan efektivitas diagnosis. Metode ini dilakukan dengan mengumpulkan dan menyusun berbagai hasil penelitian, laporan kasus, serta kajian ilmiah yang relevan dengan topik TB oral dan inovasi teknologi dalam dunia medis.

Hasil: Penelitian ini menemukan bahwa, TB asimtomatik sering ditemukan pada beberapa pasien, hanya saja mereka mengeluhkan adanya perubahan yang tidak biasa pada rongga mulut pasien, seperti ulkus, oosteomielitis, dan sakit tenggorokan.

Pengembangan deteksi tuberkulosis oral berbasis teknologi canggih: Kajian komprehensif atas inovasi terkini dalam meningkatkan akurasi dan efektivitas diagnosis serta pengendalian penularan tuberkulosis (TB)

Simpulan: Diagnosis lesi dan penyakit TB menggunakan teknologi terkini secara cepat, efektif, dan akurat untuk menentukan pengobatan yang tepat dengan segera.

Kata Kunci: Akurasi; Deteksi Tuberculosis Oral; Inovasi; Teknologi Canggih; Tuberculosis.

PENDAHULUAN

Tuberkulosis (TB) merupakan penyakit infeksi yang menyerang paru-paru (TB paru) tetapi dapat juga mengenai organ lain atau yang biasa disebut dengan TB ekstra paruyang disebabkan oleh *Mycobacterium tuberculosis*. Menurut World Health Organization (WHO) pada tahun 2023, 1,6 juta orang meninggal dunia akibat TB pada tahun 2021. TB merupakan penyebab kematian ke-13 dan penyakit infeksi penyebab kematian ke-2 setelah COVID-19 (World Health Organization 2023). Di Indonesia, TB telah menjadi penyebab utama infeksi secara global, dengan perkiraan 10 juta kasus penyakit dan 1,2 juta kematian akibat TB pada tahun 2019 (Alisjahbana, Koesoemadinata, Hadisoemarto, Lestari, Hartati, Chaidir, Huang, Murray, Hill, & McAllister, 2021). Beberapa peneliti menyoroti pentingnya pengembangan penelitian TB yang menjadi prioritas, misalnya deteksi dini, kontak investigasi, diagnosis, dan pengobatan. Sekitar 50% penderita TB terinfeksi secara laten; mereka masih sehat, dan diperkirakan 80% kasus TB disebabkan oleh TB laten (Faryar, Braun, Ancona, Ajayi, Bryant, Rehman, Sall, Lyons, & Huaman, 2022). Penemuan TB, diagnosis dini, investigasi, kontak, dan pengobatan, pencegahan TB sangat penting dalam program eliminasi TB (Faryar et al., 2022).

Lesi TB dapat ditemukan dalam rongga mulut sebagai bentuk dari manifestasi. Lesi TB di mulut bisa ditemukan primer atau sekunder. Lesi primer jarang terjadi pada pasien yang lebih muda, sering disertai dengan pembesaran kelenjar getah bening leher (Yogo, Furukawa, & Hayano, 2022; Rout, Modipalle, Hedge, Patel, Uppala, & Shetty, 2019). Sementara lesi sekunder biasanya berhubungan dengan penyakit paru dan dapat terjadi pada kelompok umur; namun sering ditemukan pada orang paruh baya dan lanjut usia (Lee, Jang, Kwon, & Choi, 2019; Mediouni, Najjar, Boukriba, Chelly, Chahed, & Besbes, 2023). Perjalanan terjadinya penyakit yang paling mungkin adalah masuknya organisme ke dalam dahak dan dari sana melalui lubang kecil di permukaan ke dalam jaringan mukosa. Sehingga memungkinkan organisme untuk memasuki jaringan mulut melalui rute hematogen, tinggal di submukosa, dan kemudian berkembang biak

dan mengalami ulserasi pada mukosa di atasnya (Sharma, Bajpai, Pathak, Pradhan, Singh, & Kant, 2019; Lee et al., 2019).

Lesi rongga mulut dapat menyertai lesi pada faring, paru-paru, kelenjar getah bening, atau kulit. Insidensi TB rongga mulut sebesar 0.1 - 0.4%, biasanya muncul sebagai ulser kronis multiple ataupun single, sakit maupun tidak sakit. Ulser primer biasanya dapat ditemukan pada gingiva, *mucobuccal fold*, dan pada area jaringan lunak terinflamasi. Sementara ulser sekunder biasanya ditemukan pada lidah, bibir dan mukosa bukal (Lee et al., 2019; Hamid, Sharma, Sheikh, & Bhat, 2020; Lee et al., 2019; Macri, Castellanos, & Dincer, 2021). TB sekunder di rongga mulut ditemukan pada hampir 97% TB kasus berupa ulkus dan 50% sering terjadi di lidah. Lesi tersebut memiliki ciri khas yaitu ulserasi dan pembengkakan pada mukosa (Rout et al., 2019) dangkal, berbentuk oval, *painless*, berwarna kuning keabu-abuan dengan tepi yang jelas (Sachdeva, Singh, & Bhagat, 2020). Lesi di lidah biasa ditemukan di ujung lidah, ulkus bulat, keputihan, batas tegas, dengan sedikit elevasi (Kim, Byun, Choi, & Jung, 2019; Rodrigues, Guimarães, Pires, & Israel, 2020). Selain itu, juga dapat ditemukan di tepi lateral, dorsum, midline, dan di dasar lidah (Sachdeva et al., 2020).

Dokter gigi beserta staff sering dekat hingga berkontak dengan banyak pasien. Pasien tersebut mungkin tanpa sadar membawa penyakit menular yang ditularkan melalui udara, sehingga dapat menginfeksi pekerja perawatan Kesehatan gigi bahkan pasien lainnya. Tindakan secara aseptis harus selalu dilakukan, termasuk tindakan pencegahan seperti sterilisasi dan desinfeksi. Dengan melakukan tindakan pencegahan infeksi dapat dicegah terjadinya infeksi yang berbahaya, bahkan dapat mencegah terjadinya kematian. Sumber infeksi yang potensial pada praktek dokter gigi termasuk tangan, saliva, darah, sekresi hidung, baju, rambut juga alat-alat/ instrumen dan perlengkapan praktek lainnya harus dijaga sterilitasnya untuk mengurangi risiko terjadinya infeksi (Zemouri, Volgenant, Crielaard, Laheij, & De Soet, 2020). Seringkali pasien dengan penyakit TB tidak menimbulkan gejala yang nyata dan menampilkan

Salsabila Qotrunnada, Bayu Taruna Widjaja Putra*, Mei Syafriadi

Universitas Jember

Korespondensi penulis: Bayu Taruna Widjaja Putra. *Email: bayu@unej.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.33024/hjk.v19i7.1018>

Pengembangan deteksi tuberkulosis oral berbasis teknologi canggih: Kajian komperhensif atas inovasi terkini dalam meningkatkan akurasi dan efektivitas diagnosis serta pengendalian penularan tuberkulosis (TB)

gejala yang sangat samar yang tidak dilaporkan oleh pasien selama skrining gejala TB, atau mungkin hanya menampilkan manifestasi pada rongga mulut pasien (Piersimoni, Gherardi, Gracciotti, & Pocognoli, 2019). Dokter gigi berada di garis depan untuk mendiagnosa lesi yang bermanifestasi pada rongga mulut sehingga dapat memberikan kontribusi penting dalam identifikasi TB pada pasien yang tidak menyadari penyakit ini.

Kultur TB merupakan metode diagnostik yang diterima secara luas dan dapat diandalkan. Kultur TB dikenal karena akurasinya yang tinggi dalam mendeteksi keberadaan bakteri TB dalam sampel, sehingga menjadikannya standar emas dalam diagnosis TB. Dengan kemampuannya memberikan hasil yang sensitif dan spesifik, kultur TB memberikan peran penting dalam mengidentifikasi dan mengobati pasien TB (Piersimoni et al., 2019). Namun, kultur TB memiliki beberapa kekurangan. Kultur TB memerlukan infrastruktur khusus, menimbulkan risiko tinggi bagi personel laboratorium, dan memerlukan staf yang sangat terlatih untuk melakukan pengujian. Serta waktu pengerjaan yang memakan waktu dari 2-6 minggu (Maphanga, Manoto, Ombinda-Lemboumba, Ismail, & Mthunzi-Kufa, 2023). Ketika TB didagnosis melalui lesi oral yaitu biopsi insisi dan pemeriksaan histopatologis, pemeriksaan tambahan tetap diperlukan untuk mengidentifikasi sumber infeksi sebelum mengsumsikan bahwa mulut adalah tempat utama, karena kelangkaan dari manifestasi ini. Diagnosis TB didasarkan pada tes Mantoux, tetapi tes ini memiliki keterbatasan dalam membedakan infeksi dari penyakit aktif dan memiliki sensitivitas yang rendah pada pasien dengan gangguan system imun (Rodrigues et al., 2020).

Penemuan dan/atau pengembangan metode baru untuk diagnosis TB tetap menjadi prioritas. Tes ini harus sensitive, akurat, hemat biaya, dan dibangun di atas platform analitis yang mudah digunakan. Tes yang berkaitan dengan diagnose TB menggunakan teknologi terkini telah banyak digunakan seperti Artificial Intelligence (AI) dan Internet of Things (IoT) untuk mendukung mendapatkan diagnose awal yang lebih cepat. Seperti pada penelitian yang menggunakan electronic nose (e-nose) sebagai metode pengukuran non-invasif yang terdiri dari rangkaian sensor, pengontrol, dan kecerdasan buatan untuk mendeteksi tuberkulosis menggunakan *Breath Analysis System* (BAS) untuk mendeteksi gas VOC yang kemudian dianalisis menggunakan sensor kimia (Hendrick, Hidayat, Horng, & Wang, 2021; Kang, Hong, Yoon,

Song, Kim, Kim, Cho, Kim, Seong, Shin, & Lee, 2021), selain itu, menggunakan BAS untuk deteksi penyakit dengan bantuan Machine Learning yang nantinya dapat menentukan diagnose dari suatu penyakit (Suresh, Prabha, Hemavathy, Sivarajeswari, & Gokulakrishnan, 2022). sedangkan untuk deteksi lesi oral seperti ulser menggunakan Algoritma *deep learning* untuk mendeteksi ulserasi menggunakan gambar intra oral, yang nantinya jika dikembangkan dapat mempermudah dokter gigi dalam mendeteksi macam-macam lesi ataupun manifestasi suatu penyakit dalam rongga mulut (Zhou, Jie, Tang, Zhang, Mao, Liu, & Hao, 2023).

METODE

Penelitian ini merupakan sebuah ulasan naratif (*narrative review*) yang bertujuan untuk menyajikan pemahaman komperhensif mengenai deteksi tuberkulosis (TB) oral serta peran teknologi canggih, seperti *Artificial Intelligence* (AI) dan *Internet of Things* (IoT), dalam meningkatkan akurasi dan efektivitas diagnosis. Metode ini dilakukan dengan mengumpulkan dan menyusun berbagai hasil penelitian, laporan kasus, serta kajian ilmiah yang relevan dengan topik TB oral dan inovasi teknologi dalam dunia medis.

Literatur yang dianalisis dipilih secara purposive berdasarkan kesesuaian topik, keaktualan informasi, dan kontribusinya terhadap pemahaman tentang TB oral dan penerapan teknologi diagnostic. Sumber-sumber utama diperoleh dari artikel jurnal ilmiah, publikasi organisasi kesehatan, dan laporan penelitian klinis yang diterbitkan dalam sepuluh tahun terakhir. Penelusuran dilakukan melalui berbagai platform akademik seperti Google Scholar, PubMed, dan ScienceDirect menggunakan kata kunci "Tuberculosis AND Oral Ulcer", "Tuberculosis AND Oral Manifestation", dan "Oral Tuberculosis".

Proses pemilihan artikel dilakukan bertahap, dimulai dari penyaringan judul, abstrak, hingga pemeriksaan full text untuk memastikan relevansi dan kelengkapan informasi. Analisis dilakukan secara deskriptif dengan pendekatan kualitatif, di mana setiap temuan dari literatur dikaji secara naratif untuk menggambarkan karakteristik lesi TB oral, tantangan diagnosis, serta efektivitas dan potensi integrasi teknologi modern dalam mendeteksi TB secara dini. Tidak dilakukan analisis statistik ataupun penilaian kualitas studi, mengingat pendekatan yang digunakan bersifat eksploratif dan bertujuan menyusun pemahaman konseptual yang luas.

Salsabila Qotrunnada, Bayu Taruna Widjaja Putra*, Mei Syafriadi

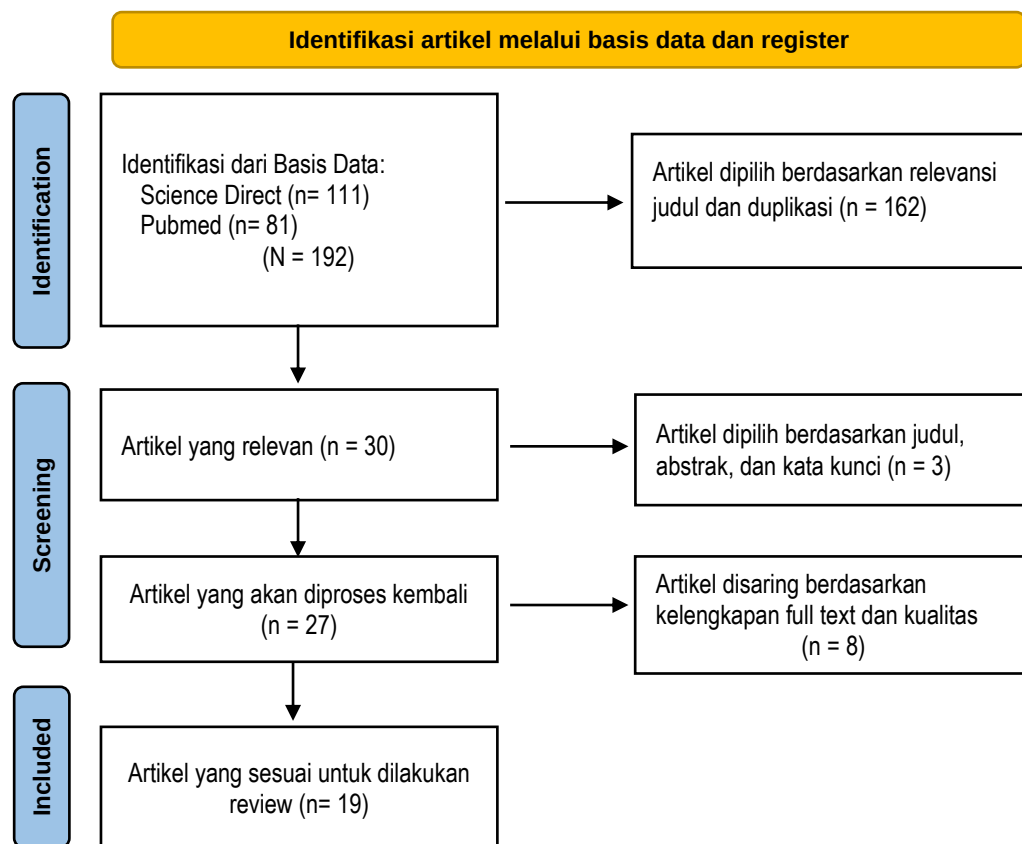
Universitas Jember

Korespondensi penulis: Bayu Taruna Widjaja Putra. *Email: bayu@unej.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.33024/hjk.v19i7.1018>

Pengembangan deteksi tuberkulosis oral berbasis teknologi canggih: Kajian komperhensif atas inovasi terkini dalam meningkatkan akurasi dan efektivitas diagnosis serta pengendalian penularan tuberkulosis (TB)

HASIL



Gambar PRISMA Flow Diagram

Salsabila Qotrunnada, Bayu Taruna Widjaja Putra*, Mei Syafriadi

Universitas Jember

Korespondensi penulis: Bayu Taruna Widjaja Putra. *Email: bayu@unej.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.33024/hjk.v19i7.1018>

Pengembangan deteksi tuberkulosis oral berbasis teknologi canggih: Kajian komperhensif atas inovasi terkini dalam meningkatkan akurasi dan efektivitas diagnosis serta pengendalian penularan tuberkulosis (TB)

Tabel 1. Tabulasi Hasil Temuan

(Penulis)(Negara)	Hasil Temuan	Sintesa
(Fragoso et al., 2020) (Portugal)	Tidak ada gejala TB pada pasien pasien sebelumnya pernah berkontak dengan penderita TB. Ulser TB HPA adanya struktur basil tahan asam.	uji biospi dan penekanan konteks epidemiologi sugestif.
(Dhanasekar et al., 2020) (India)	Ada gejala batuk dan sakit tenggorokan CT thorax normal HPA ditemukan ciri-ciri TB.	Uji Biopsi
(Mohad et al., 2021) (India)	Pasien tanpa gejala TB Ada Riwayat TB keluarga Osteomielitis tuberculosis Ditemukan sel-sel ciri khas TB.	Kultur apusan
(Razem et al., 2021) (Maroko)	Ulser TB pada lidah HPA ditemukan sel ciri khas TB	Tes Histopatologi
(Sachdeva et al., 2020) (India)	Ulser TB pada labial HPA ditemukan sel ciri khas TB	Tes Histopatologi
(Pina et al., 2022) (Brazil)	Pasien tanpa gejala TB Ulser TB pengujian basil tahan alcohol-asam (BAAR) sputum positif. HPA ditemukan sel ciri khas TB	Uji Sputum dan Histopatologi
(Barragán et al., 2022) (Meksiko)	Pasien tanpa gejala Ulser TB pada lateral lidah tes biopsy dengan melihat hasil HPA didapatkan beberapa batang tahan asam.	Uji Biopsi dan Histopatoogi
(Valenzuela-Narváez et al., 2020) (Spanyol)	Pada pemeriksaan Granular Ulser TB HPA ditemukan sel epitel skuamosa bertingkat dengan nekrosis kaseosa dan sel raksasa langerhans.	Uji Histopatologi
(Shen et al., 2020) (Cina)	ulkus rongga mulut pada kelompok BD- LTBI secara signifikan lebih serius daripada kelompok non-LTBI;	Pasien Bachet syndrome dengan TB memiliki gambaran klinis yang lebih buruk
(Apriasari et al. 2020) (Indonesia)	xerostomia, kandidiasi, dan angular cheilitis	Dokter gigi harus mengetahui lesi TB orofasial dan menganggapnya sebagai diagnose banding oral lesi untuk memastikan diagnosis dini TB.

Oral tuberculosis dapat ditemukan dalam berbagai bentuk jenis lesi serta tempat kejadian yang berbeda-beda pada rongga mulut, hal ini diakibatkan oleh faktor predisposisi yang berbeda pula, seperti kebersihan rongga

Salsabila Qotrunnada, Bayu Taruna Widjaja Putra*, Mei Syafriadi

Universitas Jember

Korespondensi penulis: Bayu Taruna Widjaja Putra. *Email: bayu@unej.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.33024/hjk.v19i7.1018>

Pengembangan deteksi tuberkulosis oral berbasis teknologi canggih: Kajian komperhensif atas inovasi terkini dalam meningkatkan akurasi dan efektivitas diagnosis serta pengendalian penularan tuberkulosis (TB)

mulut, kebiasaan, dan riwayat penyakit keluarga. Hasil penelitian didapatkan dari beberapa literature dengan desain penelitian studi deskriptif dan cross-sectional. Berdasarkan beberapa literature didapatkan letak dan bentuk lesi yang berbeda. Individu dengan Lesi TB yang ditemukan pada beberapa literature umumnya tidak mengalami gejala TB.

Tabel 2. Deteksi Penyakit Menggunakan *Advanced Technology*

(Penulis)(Negara)	Perangkat	Detection Principle	Target
(Zhou et al. 2023) (Cina)	Deep Learning	-	Mendeteksi dan Menandai Lesi RAS
(Saktiawati et al. 2019) (Indonesia)	E-nose	-	Mendiagnosa TB paru dan TB ekstraparu
(Hendrick et al., 2021) (Indonesia)	IoT and Machine Learning IoT (Sensor Gas) dan AI (SVM, XGboost, Random Forest, ANN)	E-Nose	Deteksi TB untuk mendeteksi zat kimia VOC, untuk deteksi tuberculosis
(Kang et al., 2021) (Korea Selatan)	IoT (detector fotonisasi komersial dan detector tabung kolorimetri)	Breath Analysis System dengan penambahan gas preconcentrator	Mengkonsentrasikan VOC
(Suresh et al., 2022) (India)	IoT (Biosensor) dan Machine Learning (Support vector machine dan Teknik regresi liner)	Breath Analysis System	Mendiagnosa penyakit dan memprediksi penyakit masa depan
(Kim et al., 2022) (Korea Selatan)	IoT (Biosensor berbasis graphene epitaxial kuasi freestanding)	Aplikasi diagnosis praktis dari sensor portable Covid-19	Diagnosa Covid-19 menggunakan sampel air liur atau kondensat aerosol napas
(Tanriver et al., 2021) (Turki)	Deep Learning	Deteksi lesi oral dengan jaringan detector dan mengklasifikasikan	Mendeteksi Kanker rongga mulut yang berpotensi ganas
(Welikala et al., 2020) (Malaysia)	Deep Learning - IoT	Klasifikasi dengan ResNet-101 dan deteksi dengan Faster R-CNN	Mendeteksi dan mengklasifikasikan kanker rongga mulut
(Güven et.al., 2023) (Turki)	Machine Learning (Convolutional Neural Network)	Menggunakan AI dan digital histopatologi untuk mendeteksi sel atypia	Mendeteksi <i>Oral Squamous Cell Carcinoma</i>

Salsabila Qotrunnada, Bayu Taruna Widjaja Putra*, Mei Syafriadi

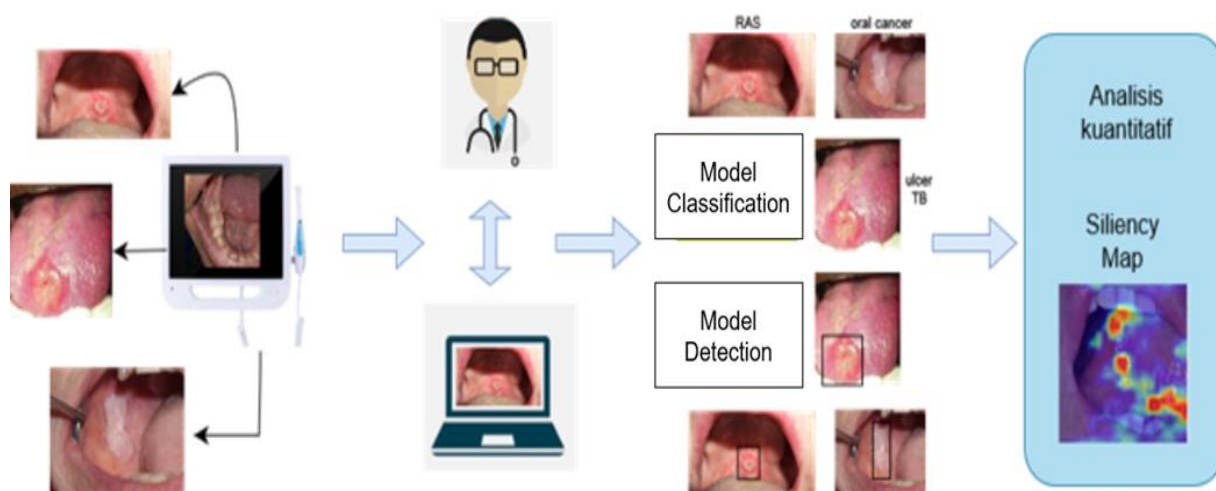
Universitas Jember

Korespondensi penulis: Bayu Taruna Widjaja Putra. *Email: bayu@unej.ac.id

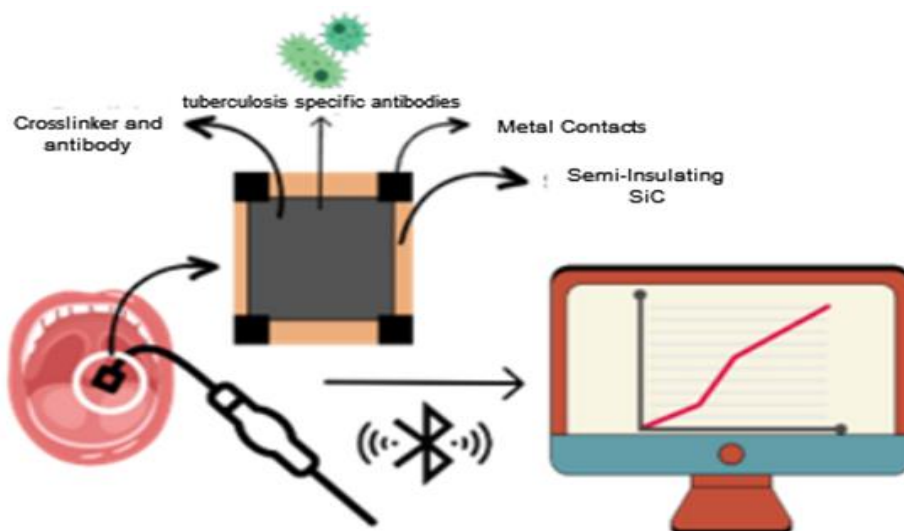
DOI: <https://doi.org/10.33024/hjk.v19i7.1018>

Pengembangan deteksi tuberkulosis oral berbasis teknologi canggih: Kajian komperhensif atas inovasi terkini dalam meningkatkan akurasi dan efektivitas diagnosis serta pengendalian penularan tuberkulosis (TB)

Deteksi tuberkulosis paru biasanya dilakukan dengan pemeriksaan sputum untuk mengetahui apakah terdapat bakteri *Myobacterium tuberculosis* dengan melakukan pemeriksaan mikroskopis, biakan atau amplifikasi asam nukleat (Lima, Santos, Oliveira, Silva, Gonçalves, Andrews, & Croda, 2020). Namun untuk mempermudah pekerjaan saat ini untuk mendeteksi tuberkulosis baik paru maupun ekstraparu dapat menggunakan teknologi terkini, dengan sensitivitas rata-rata 92% maka alat tersebut baik serta akurat untuk digunakan. Seperti temuan pada beberapa penelitian pada tabel 2, tidak hanya pada pendeteksian TB, tetapi Pemutakhiran teknologi di banyak sector terutama sector kesehatan membantu meningkatkan kualitas pelayanan serta kecepatan dan ketepatan dalam menentukan diagnose pasien. Dengan ketersediaan berbagai teknologi seperti *Internet of Things*, *Artificial Intellegance*, serta *Big Data* yang secara signifikan membantu kapasitas pemodelan prediktif. Penggunaan *Advanced Technology* dalam mendeteksi berbagai deteksi penyakit pernapasan untuk mempermudah menentukan diagnosis. Seperti pada tabel 2, penggunaan *Advanced Technology* mempermudah deteksi penyakit pernapasan.



Gambar 1. Analisis Lesi Rongga Mulut Otomatis dengan Kamera Intra Oral menggunakan Data *Real Time*



Gambar 2. Deteksi Tuberkulosis menggunakan Biosensor berbasis *Graphene Epitaxial Kuasi Bebas*

Salsabila Qotrunnada, Bayu Taruna Widjaja Putra*, Mei Syafriadi

Universitas Jember

Korespondensi penulis: Bayu Taruna Widjaja Putra. *Email: bayu@unej.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.33024/hjk.v19i7.1018>

Pengembangan deteksi tuberkulosis oral berbasis teknologi canggih: Kajian komperhensif atas inovasi terkini dalam meningkatkan akurasi dan efektivitas diagnosis serta pengendalian penularan tuberkulosis (TB)

PEMBAHASAN

Tuberkulosis merupakan salah satu penyebab kematian di seluruh dunia, tuberkulosis yang bermanifestasi pada rongga mulut dapat menjadi penampakan sekunder dari manifestasi tuberkulosis, TB oral diperkirakan hanya mewakili 0,05-5% dari total kasus TB. Bentuk primer dan lesi oral TB umumnya ditemui pada anak-anak dan remaja. Bentuk sekunder lebih sering terjadi pada orang dewasa dan manula terutama melibatkan lidah dan palatum keras (Dhanasekar, Shyamala, Arshad, & Rajagopalan, 2020). Beberapa penderita tidak menunjukkan adanya gejala tuberkulosis seperti salah satunya tuberkulosis ekstrapulmoner, merupakan bentuk infeksi kronis yang tidak umum, yang tidak menunjukkan tanda dan gejala khas tuberkulosis paru, namun muncul sebagai manifestasi pada rongga mulut. TB oral dapat berupa primer dan sekunder. Dalam bentuk primer, rongga mulut merupakan tempat awal infeksi akibat inoculasi langsung dari bakteri. Lesi TB orofasial primer jarang terjadi, dan pada umumnya muncul pada individu muda, bermanifestasi sebagai ulkus tunggal yang tidak nyeri dengan pembesaran kelenjar getah bening regional. Sedangkan TB orofasial sekunder muncul setelah penyebaran infeksi TB dari tempat lain melalui jalur limfatik dan matogen (Mohad, Dabir, Vahanwala, Padhye, & Patwardhan, 2021). Manifestasi TB di rongga mulut juga dapat berupa xerostomia, kandidiasis, dan angular cheilitis (Apriasari, Silalahi, Hatta, & Utami, 2020).

Berdasarkan tabel temuan artikel, pada beberapa kasus penderita tidak menyadari bahwa dirinya terkena TB, hanya saja mereka mengeluhkan perubahan yang tidak biasa pada rongga mulut penderita, seperti adanya ulser, osteomyelitis, dan sakit tenggorokan. Dalam penelitian lain, penderita menyangkal adanya gejala batuk, keringat malam, dan anoreksia, tetapi pasien kehilangan berat badan (Fragoso, Oliveira, Gonçalves, Méndez, & Sarmento-Castro, 2020). Kemudian pada saat dilakukan pemeriksaan lesi yang diduga keganasan sebelumnya, ditemukan bahwa pada pewarnaan Ziehl-Neelsen mengungkapkan adanya struktur basil tahan asam, dan pasien pernah berkontak dengan pasien TB. Pasien dengan pembengkakan datang tanpa gejala TB tetapi setelah ditelusuri didapati

bahwa keluarga memiliki riwayat TB selama masa kecil (Mohad et al., 2021). Temuan tersebut didapatkan pada saat dilakukan tes apusan pada pembengkakan dan ditemukan sel-sel ciri khas TB. Lesi langka ini dapat menimbulkan tantangan diagnosis, karena TB pada mandibula tidak mungkin didiagnosis pada tahap awal, terutama bila tidak ada tanda dan gejala TB. Dijelaskan juga dalam artikel (Sachdeva et al. 2020), lesi TB pada anak sangat sulit untuk dibedakan dengan lesi lainnya karena sebgaiian besar tidak menunjukkan gejala. TB tanpa gejala tetapi memiliki manifestasi pada rongga mulut (Valenzuela-Narváez, Valenzuela, Valenzuela, Bailón, Machco, Mena, & Estrada, 2020). Pada pemeriksaan HPA ditemukan sel epitel skuamosa bertingkat dengan nekrosis kaseosa dan sel raksasa Langerhans, yang merupakan ciri khas TB, sama halnya dengan temuan terkait tes histopatologis menunjukkan sel-sel granuloma kaseosa dengan nekrosis yang merupakan ciri khas TB (Razem, El Hamid, Salissou, Raiteb, & Slimani, 2021). Pada penelitian sebelumnya, hapusan dengan pewarnaan Ziehl-Neelsen didapatkan beberapa batang tahan asam (Barragán, Cerda, Vera, Audelo, Campos, Téllez, & Zulueta, 2022).

Pada beberapa laporan kasus beberapa lesi lebih banyak ditemukan dalam bentuk ulser pada lidah dan mukosa mulut (Pina, Lemos, & de Sousa, 2022). Kasus yang jarang terjadi yaitu osteomyelitis dan TB tonsil, lesi langka ini dapat menimbulkan tantangan diagnostic karena TB pada temporomandibular mungkin didiagnosis pada tahap awal sebagai lesi nondestruktif, terutama bila tidak ada tanda dan gejala yang menyertai. Manifestasi TB pada rongga mulut biasanya diperparah oleh kondisi rongga mulut yang kurang terjaga, pencabutan, periodontitis, dan kandidiasis (Dhanasekar et al. 2020; Mohad et al. 2021). Pada penelitian yang membahas mengenai perbedaan gambaran klinis pasien dengan *Bachet syndrome* dengan atau tidaknya infeksi tuberkulosis laten, didapatkan hasil bahwa frekuensi, jumlah dan cakupan ulkus rongga mulut pada kelompok BD-LTBI secara signifikan lebih serius daripada kelompok non-LTBI; pengamatan serupa dilakukan mengenai tikak kelamin, dan kerusakan hati juga

Salsabila Qotrunnada, Bayu Taruna Widjaja Putra*, Mei Syafriadi

Universitas Jember

Korespondensi penulis: Bayu Taruna Widjaja Putra. *Email: bayu@unej.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.33024/hjk.v19i7.1018>

Pengembangan deteksi tuberkulosis oral berbasis teknologi canggih: Kajian komprehensif atas inovasi terkini dalam meningkatkan akurasi dan efektivitas diagnosis serta pengendalian penularan tuberkulosis (TB)

lebih penting pada kelompok BD-LTBI (Shen et al., 2020; Shen, Ma, Luo, Cai, Zou, Bao, & Guan, 2021).

Berdasarkan beberapa temuan untuk lesi klinis pada rongga mulut dapat menggunakan deep learning seperti studi penelitian yang oleh (Zhou et al. 2023). Dengan bantuan computer berdasarkan pembelajaran mendalam, sejumlah foto rongga mulut dan temuan lesi dikumpulkan melalui kamera kemudian dianalisis oleh dokter untuk menandai lesi. Set pelatihan dan validasi digunakan untuk melatih model deep learning kemudian dianalisis secara kuantitatif dan visual untuk mengevaluasi akurasi prediksi model. Dengan mengumpulkan data berbagai lesi dan foto rongga mulut normal yang sebelumnya telah didagnosa oleh ahli, nantinya akan model deep learning untuk dianalisis apakah itu lesi ulser RAS, lesi TB, atau SCC.

Prinsip kerja untuk diagnose tuberkulosis dengan bantuan computer berbasis deep learning, dengan mengambil gambaran beberapa temuan lesi menggunakan kamera intra oral, kemudian diklasifikasikan oleh tenaga ahli, rongga mulut normal, lesi TB dan lesi non TB, kemudian dilakukan data set, melatih model menggunakan metode deep learning, kemudian dilakukan tes untuk validasi kinerja model, hasil dianalisis secara visual seperti gambar 1.

Beberapa temuan lainnya menggunakan IoT dan machine learning yaitu dengan memperkenalkan alat E-nose, yang digunakan dengan cara menghembuskan nafas pada kantong sampel yang kemudian akan dianalisis, penemuan ini memiliki sensitivitas dan spesifitas yang tinggi, hanya saja perlu pengembangan lebih lanjut terkait faktor-faktor pengganggu seperti pasien yang merokok, bau mulut, dan makan atau minum sebelum dilakukan tes, atau gangguan dari kantong sampel itu sendiri (Saktiawati, Putera, Setyawan, Mahendradhata, & van der Werf, 2019). Pengembangan biosensor elektrokimia berbasis SPE dan fungsinya untuk digunakan mendeteksi penyakit TB. Biosensor mampu mendeteksi TB dalam DNA dan sampel dahak. Kinerja analitik menunjukkan bahwa biosensor khusus untuk TB mampu membedakan dahak + dan ++, sensitivitas dan spesifitas pada alat tersebut dinilai tinggi (Taufiq, Waqar, Sharif, & Abbas, 2023). Pada artikel sebelumnya yang membahas mengenai deteksi CoVid menggunakan

biosensor berbasis graphene epitaxial kuasi-bebas, dengan menggunakan biomarker antibody covid untuk mendeteksi antigen covid, sehingga didapatkan biosensor dengan selektivitas dan sensitivitas yang tinggi untuk deteksi cepat Covid (Kang et al., 2021).

Penulis mengembakan temuan ini dengan meletakkan sensor tersebut pada pendeteksi intraoral, sehingga didapatkan data *real time* pada saat perawatan pasien untuk mendeteksi TB melalui saliva seperti gambar 2. Beberapa temuan penyakit pernapasan dapat dideteksi menggunakan teknologi yang lebih modern, seperti pada penelitian sebelumnya berbicara mengenai detektor fotonisasi komersial dan detector tabung kolorimetri, dengan penambahan konsentrator gas sehingga dapat mendeteksi gas VOC (Kang et al., 2021). Dalam penelitian lain juga membahas mengenai mendiagnosis dan memprediksi penyakit masa depan dengan menggunakan Biosensor (Suresh et al., 2022). Teknologi masa depan yang dibahas tidak hanya mengenai IoT tetapi juga AI, seperti beberapa jurnal yang didapatkan, yaitu menggunakan pembelajaran mendalam untuk mendeteksi berbagai lesi hingga kanker rongga mulut. Penelitian terdahulu juga mendeteksi lesi rongga mulut menggunakan klasifikasi dengan ResNet-101 dan deteksi dengan Faster R-CNN yang kemudian diproses menggunakan IoT (Welikala, Remagnino, Lim, Chan, Rajendran, Kallarakkal, & Barman, 2020).

SIMPULAN

TB dapat ditemukan dalam rongga mulut dalam bentuk manifestasi, dan pada beberapa kasus TB tanpa gejala tidak berbahaya secara langsung. Namun penting untuk melakukan skrining dan pencegahan untuk mengidentifikasi kasus infeksi TB, terutama pada praktek dokter gigi. Adanya *advanced technology* berbasis IoT dan AI, memudahkan untuk mendeteksi TB secara cepat dan tepat sebagai pencegahan dini.

DAFTAR PUSTAKA

Alisjahbana, B., Koesoemadinata, R. C., Hadisoemarto, P. F., Lestari, B. W., Hartati, S., Chaidir, L., Huang, C., Murray, M., Hill, P. C., & McAllister, S. M. (2021). Are neighbourhoods of tuberculosis cases a high-risk population for active intervention? A protocol for tuberculosis active case finding. *Plos one*, 16(8), e0256043.

Salsabila Qotrunnada, Bayu Taruna Widjaja Putra*, Mei Syafriadi

Universitas Jember

Korespondensi penulis: Bayu Taruna Widjaja Putra. *Email: bayu@unej.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.33024/hjk.v19i7.1018>

Pengembangan deteksi tuberkulosis oral berbasis teknologi canggih: Kajian komperhensif atas inovasi terkini dalam meningkatkan akurasi dan efektivitas diagnosis serta pengendalian penularan tuberkulosis (TB)

- Apriasari, M. L., Silalahi, M. V., Hatta, I., & Utami, J. P. (2020). Study analysis of oral tuberculosis lesion in South Kalimantan, Indonesia. *Odonto: Dental Journal*, 7(1), 1-8.
- Barragán, Y. A., Cerda, F. D. J. M., Vera, M. H., Audelo, M. A., Campos, A. E. P., Téllez, J. E., & Zulueta, A. P. R. (2022). Diagnosis of disseminated tuberculosis from a lesion in the oral cavity. *IDCases*, 30, e01618.
- Dhanasekar, D. T., Shyamala, R. I., Arshad, A. M., & Rajagopalan, D. (2020). An interesting case of tonsillar tuberculosis in a 10-year-old boy. *Journal of Clinical Tuberculosis and Other Mycobacterial Diseases*, 20, 100162.
- Faryar, K. A., Braun, R., Ancona, R. M., Ajayi, E., Bryant, W., Rehman, S., Sall, H., Lyons, M. S., & Huaman, M. A. (2022). Emergency department screening for latent tuberculosis infection. *The American Journal of Emergency Medicine*, 54, 323-e5.
- Fragoso, J., Oliveira, M. M., Gonçalves, C., Méndez, J., & Sarmento-Castro, R. (2020). Oral ulcer as presentation of cavitating pulmonary tuberculosis. *IDCases*, 22, e00976.
- Güven, O., Tuna, L., Konar, S. H., Pasayeva, L., & Kurt, B. F. (2023). Giant Cervical Tuberculous Lymphadenitis: Case Report. *Eurasian Journal of Critical Care*, 5(1), 28-30.
- Hamid, R., Sharma, P., Sheikh, R. A., & Bhat, M. (2020). Primary oral tuberculosis: A case series of a rare disease. *Journal of Oral and Maxillofacial Pathology*, 24(2), 332-338.
- Hendrick, H., Hidayat, R., Horng, G. J., & Wang, Z. H. (2021). Non-invasive method for tuberculosis exhaled breath classification using electronic nose. *IEEE Sensors Journal*, 21(9), 11184-11191.
- Kang, H. L., Hong, D. K., Yoon, S., Song, S., Kim, Y. J., Kim, W. H., Cho, H., Kim, H. W., Seong, W. K., Shin, D. S., & Lee, K. N. (2021). Gas concentrator with an activated carbon adsorbent for breath analysis. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 330, 129341.
- Kim, S., Ryu, H., Tai, S., Pedowitz, M., Rzasa, J. R., Pennachio, D. J., & Daniels, K. M. (2022). Real-time ultra-sensitive detection of SARS-CoV-2 by quasi-freestanding epitaxial graphene-based biosensor. *Biosensors and Bioelectronics*, 197, 113803.
- Kim, S. Y., Byun, J. S., Choi, J. K., & Jung, J. K. (2019). A case report of a tongue ulcer presented as the first sign of occult tuberculosis. *BMC Oral Health*, 19(1), 67.
- Lee, S. T., Jang, S. B., Kwon, T. G., & Choi, S. Y. (2019). Oral tuberculosis mimicking a traumatic denture ulcer. *The Journal of prosthetic dentistry*, 121(2), 225-228.
- Lima, F., Santos, A. S., Oliveira, R. D., Silva, C. C., Gonçalves, C. C., Andrews, J. R., & Croda, J. (2020). Oral swab testing by Xpert® MTB/RIF Ultra for mass tuberculosis screening in prisons. *Journal of clinical tuberculosis and other mycobacterial diseases*, 19, 100148.
- Macri, D. V., Castellanos, S., & Dincer, E. (2021). Oral Manifestations of Tuberculosis.
- Maphanga, C., Manoto, S., Ombinda-Lemboumba, S., Ismail, Y., & Mthunzi-Kufa, P. (2023). Localized surface plasmon resonance biosensing of Mycobacterium tuberculosis biomarker for TB diagnosis. *Sensing and Bio-Sensing Research*, 39, 100545.
- Mediouni, A., Najjar, S., Boukriba, S., Chelly, B., Chahed, H., & Besbes, G. (2023). Head and neck tuberculosis associated to sarcoidosis: A case report. *Journal of Clinical Tuberculosis and Other Mycobacterial Diseases*, 31, 100364.
- Mohad, N., Dabir, A., Vahanwala, J., Padhye, M., & Patwardhan, J. (2021). Tuberculous osteomyelitis in condyle of mandible: A case report. *Advances in Oral and Maxillofacial Surgery*, 2, 100064.
- Piersimoni, C., Gherardi, G., Gracciotti, N., & Pocognoli, A. (2019). Comparative evaluation of Xpert MTB/RIF and the new Xpert MTB/RIF ultra with respiratory and extra-pulmonary specimens for tuberculosis case detection in a low incidence setting. *Journal of clinical tuberculosis and other mycobacterial diseases*, 15, 100094.

Salsabila Qotrunnada, Bayu Taruna Widjaja Putra*, Mei Syafriadi

Universitas Jember

Korespondensi penulis: Bayu Taruna Widjaja Putra. *Email: bayu@unej.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.33024/hjk.v19i7.1018>

Pengembangan deteksi tuberkulosis oral berbasis teknologi canggih: Kajian komperhensif atas inovasi terkini dalam meningkatkan akurasi dan efektivitas diagnosis serta pengendalian penularan tuberkulosis (TB)

- Pina, P. S., Lemos, C. A., & de Sousa, S. C. (2022). A buccal mucosa ulcer as the first sign of tuberculosis. *Journal of Oral and Maxillofacial Pathology*, 26(3), 399-403.
- Razem, B., El Hamid, S., Salissou, I., Raiteb, M., & Slimani, F. (2021). Lingual primary tuberculosis mimicking malignancy. *Annals of Medicine and Surgery*, 67, 102525.
- Rodrigues, B. T. G., Guimarães, A. D. F. C., Pires, F. R., & Israel, M. S. (2020). Tuberculosis: Primary Diagnosis From an Oral Ulcer. *Journal of Oral Diagnosis*, 5, 1-4.
- Rout, P., Modipalle, V., Hedge, S. S., Patel, N., Uppala, S., & Shetty, P. K. (2019). Prevalence of oral lesions in tuberculosis: A cross sectional study. *Journal of Family Medicine and Primary Care*, 8(12), 3821-3825.
- Sachdeva, P., Singh, S., & Bhagat, N. (2020). Primary oral tuberculosis-A case report. *Contemporary Clinical Dentistry*, 11(1), 79-82.
- Saktiawati, A. M., Putera, D. D., Setyawan, A., Mahendradhata, Y., & van der Werf, T. S. (2019). Diagnosis of tuberculosis through breath test: a systematic review. *EBioMedicine*, 46, 202-214.
- Sharma, S., Bajpai, J., Pathak, P. K., Pradhan, A., Singh, P., & Kant, S. (2019). Oral tuberculosis-Current concepts. *Journal of family medicine and primary care*, 8(4), 1308-1312.
- Shen, Y., Ma, H., Luo, D., Cai, J., Zou, J., Bao, Z., & Guan, J. (2020). Behçet's disease with latent Mycobacterium tuberculosis infection. *Open Medicine*, 16(1), 14-22.
- Suresh, K. C., Prabha, R., Hemavathy, N., Sivarajeswari, S., & Gokulakrishnan, D. (2022). A machine learning approach for human breath diagnosis with soft sensors. *Computers and Electrical Engineering*, 100, 107945.
- Tanriver, G., Soluk Tekkesin, M., & Ergen, O. (2021). Automated detection and classification of oral lesions using deep learning to detect oral potentially malignant disorders. *Cancers*, 13(11), 2766.
- Taufiq, S., Waqar, M., Sharif, M. N., & Abbas, S. R. (2023). Towards portable rapid TB biosensor: detecting Mycobacterium tuberculosis in raw sputum samples using functionalized screen printed electrodes. *Bioelectrochemistry*, 150, 108353.
- Valenzuela-Narváez, R., Valenzuela, D. A., Valenzuela, D. R., Bailón, A., Machco, H., Mena, C., & Estrada, A. (2020). An unusual granular ulcer secondary oral tuberculosis of vestibule mandibular mucosa. *European Journal of Dentistry*, 14(02), 331-334.
- Welikala, R. A., Remagnino, P., Lim, J. H., Chan, C. S., Rajendran, S., Kallarakkal, T. G., & Barman, S. A. (2020). Automated detection and classification of oral lesions using deep learning for early detection of oral cancer. *Ieee Access*, 8, 132677-132693.
- World Health Organization. (2023). Global tuberculosis report 2023. Diakses dari: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240083851>
- Yogo, N., Furukawa, C., & Hayano, S. (2022). Paediatric progressive primary tuberculosis. *Journal of Clinical Tuberculosis and Other Mycobacterial Diseases*, 28, 100318.
- Zemouri, C., Awad, S. F., Volgenant, C. M. C., Crielaard, W., Laheij, A. M. G. A., & De Soet, J. J. (2020). Modeling of the transmission of coronaviruses, measles virus, influenza virus, Mycobacterium tuberculosis, and Legionella pneumophila in dental clinics. *Journal of dental research*, 99(10), 1192-1198.
- Zhou, M., Jie, W., Tang, F., Zhang, S., Mao, Q., Liu, C., & Hao, Y. (2024). Deep learning algorithms for classification and detection of recurrent aphthous ulcerations using oral clinical photographic images. *Journal of Dental Sciences*, 19(1), 254-260.

Salsabila Qotrunnada, Bayu Taruna Widjaja Putra*, Mei Syafriadi

Universitas Jember

Korespondensi penulis: Bayu Taruna Widjaja Putra. *Email: bayu@unej.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.33024/hjk.v19i7.1018>