**Journal of Innovative and Creativity**
Journal Homepage: https://joecy.org/index.php/joecy
e-mail: galungwaknook@gmail.co

Faculty of Education
University of Pahlawan Tuanku Tambusai
ISSN 2775-771X (Online)
ISSN 2962-570X (Printed)
6 (1) 2026, Page: 15428-15434

# Aplikasi Kecerdasan Buatan dalam Program Skrining Retinopati Diabetik : Suatu Tinjauan Sistematis

**Ingwer Jhontri Artahsasta Tumanggor[1], Marchsel Sinaga[2], I Made Glorya Amabel[3] Chenanya Putera Siadari[4], Mario Marcellino[5,] Reinhard Sadrakh Sinabutar[6]**

**Fakultas Kedokteran Militer Universitas Pertahanan RI, Bogor, Indonesia**

Corresponding Author **Ingwer Jhontri Artahsasta Tumanggor**: „ e-mail: ingwer.research@gmail.com

Published: Maret , 2026

## ABSTRACT

Retinopati diabetik menjadi penyebab utama kebutaan yang dapat dicegah di tengah melonjaknya prevalensi diabetes, tetapi program skrining terkendala kekurangan spesialis dan akses tidak merata di daerah minim sumber daya. Tinjauan sistematis ini bertujuan mengevaluasi aplikasi kecerdasan buatan (AI) dalam skrining retinopati diabetik dunia nyata. Menggunakan pedoman PRISMA 2020, pencarian dilakukan di PubMed, ScienceDirect, dan Google Scholar (2020–2025), dengan sampel purposif 8 studi primer observasional dan implementatif berfokus pada fundus photography berbasis AI di layanan primer dan teleoftalmologi. Formulir ekstraksi PRISMA standar mengumpul karakteristik studi, metrik diagnostik, dan outcomes, dianalisis melalui sintesis tematik kualitatif. Hasil menunjukkan sistem AI mencapai performa kuat dengan AUC >0.85 di sebagian besar studi, sensitivitas tinggi untuk deteksi referable diabetic retinopathy, rujukan lebih cepat, serta peningkatan kepatuhan pasien, meski terhambat variasi kualitas citra. Kesimpulannya, AI menjadi tambahan triase efektif untuk kesetaraan skrining di setting minim sumber daya seperti Indonesia, dengan rekomendasi model hybrid bersama validasi klinisi guna penerapan optimal.

**Kata Kunci:** Artificial Intelligence, Diabetic Retinopathy, Fundus Photography, Screening Programs, Teleophthalmology

© The Author(s). 2021 Open Access This article is licensed under a Creative Commons Atibution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. To view a copy of this licence, visit http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

## PENDAHULUAN

Retinopati diabetik muncul sebagai komplikasi mikrovaskular utama dari diabetes melitus, yang menjadi penyebab terdepan gangguan penglihatan dan kebutaan yang dapat dicegah pada usia produktif di seluruh dunia. Prevalensi diabetes melitus terus melonjak secara global, sehingga beban retinopati diabetik ikut meningkat dan menimbulkan tantangan kesehatan masyarakat besar, terutama di negara-negara dengan akses layanan kesehatan mata yang terbatas (Barkmeier, 2022; Teo et al., 2021). Deteksi dini melalui program skrining terstruktur telah terbukti menekan risiko kebutaan secara signifikan dengan mengidentifikasi kerusakan retina sejak tahap awal (Flaxman et al., 2022).

Program skrining retinopati diabetik memainkan peran krusial dalam mencegah komplikasi lanjutan, karena intervensi tepat waktu seperti terapi laser atau injeksi anti-VEGF dapat menstabilkan atau memulihkan penglihatan jika ditemukan lebih dini. Namun, meskipun bukti efektivitasnya kuat, cakupan skrining global masih rendah, dengan hanya sebagian kecil pasien diabetes yang menjalani pemeriksaan rutin di banyak wilayah (Goh et al., 2023; Ting et al., 2021).

Pelaksanaan skrining konvensional bergantung pada pemeriksaan fundus oleh dokter spesialis mata atau teleoftalmologi dengan pembacaan citra oleh tenaga terlatih, tetapi pendekatan ini sering terhambat oleh kekurangan dokter mata, distribusi fasilitas tidak merata, dan beban kerja tinggi di layanan rujukan (Barkmeier, 2022). Akibatnya, banyak pasien diabetes melewatkan pemeriksaan retina

rutin, sehingga retinopati diabetik terdeteksi pada stadium lanjut yang sulit diobati (1; Abramoff et al., 2021).

Kemajuan teknologi seperti AI berbasis deep learning menawarkan solusi dengan menganalisis citra fundus secara otomatis untuk mengklasifikasikan derajat retinopati diabetik, mengurangi ketergantungan pada pemeriksaan manual dan memungkinkan skrining lebih cepat serta konsisten (4; 5). Studi awal menunjukkan AI mencapai sensitivitas dan spesifisitas tinggi untuk deteksi referable diabetic retinopathy di layanan primer dan komunitas (2; 6; Varadarajan et al., 2022).

Namun, penerapan AI masih menghadapi tantangan seperti variasi kualitas citra fundus, karakteristik populasi beragam, dan potensi hasil positif palsu pada kasus kompleks, yang memerlukan konfirmasi dokter mata (7; 8; Wu et al., 2023). Faktor ini membatasi skalabilitas AI sebagai pengganti penuh, meskipun potensinya besar untuk meningkatkan efisiensi rujukan dan kepatuhan pasien (3).

Tinjauan sistematis ini bertujuan merangkum bukti dari studi implementatif dunia nyata mengenai karakteristik sistem AI, performa diagnostiknya, serta implikasinya dalam program skrining retinopati diabetik di berbagai setting layanan kesehatan (4; 6; 8). Urgensinya terletak pada kebutuhan mendesak optimalisasi skrining di negara seperti Indonesia dengan prevalensi diabetes tinggi dan sumber daya mata terbatas, di mana AI dapat memperluas akses deteksi dini (7). Kebaruan penelitian ini terfokus pada sintesis kualitatif studi real-world pasca-2020, menyoroti gap antara pengembangan algoritma dan implementasi praktis, sehingga memberikan rekomendasi kontekstual untuk integrasi AI di layanan primer (1; 2).

# METODE

## Jenis dan Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan tinjauan sistematis kualitatif yang mengikuti pedoman Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) 2020 untuk mengevaluasi penerapan kecerdasan buatan dalam program skrining retinopati diabetik berdasarkan studi implementatif dunia nyata. Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan sintesis bukti dari studi primer observasional dan implementatif, dengan fokus pada performa diagnostik AI di setting klinis aktual seperti layanan primer dan teleoftalmologi (Page et al., 2021). Strategi pencarian menggunakan kombinasi kata kunci seperti "artificial intelligence", "diabetic retinopathy", "screening", "fundus photography", dan "teleophthalmology", digabung dengan operator Boolean AND/OR untuk hasil komprehensif, sesuai rekomendasi metodologi tinjauan sistematis (Sugiyono, 2023; Emzir, 2022).

## Instrumen dan Teknik Analisis Data

Instrumen utama mencakup formulir ekstraksi data standar PRISMA untuk mengumpul informasi seperti karakteristik studi, jenis sistem AI, modalitas fundus photography, sensitivitas/spesifisitas, AUC, dan dampak rujukan/kepatuhan pasien dari delapan studi terpilih. Teknik analisis data bersifat kualitatif sintetik, membandingkan temuan secara tematik untuk mengidentifikasi konsistensi performa AI dalam deteksi referable diabetic retinopathy, dengan pendekatan naratif untuk variasi setting (Sudaryono, 2021). Data dirangkum dalam tabel perbandingan dan PRISMA flow diagram, memastikan transparansi dan replikabilitas seperti pada tinjauan sistematis kesehatan (Creswell & Creswell, 2023; Liu et al., 2022).

## Populasi dan Sampel

Populasi penelitian terdiri dari studi primer (observasional/implementatif) yang mengevaluasi AI dalam skrining retinopati diabetik pada pasien diabetes di layanan kesehatan dunia nyata, dipublikasikan 2020-2025 di PubMed, ScienceDirect, dan Google Scholar. Sampel purposif mencakup delapan studi yang memenuhi kriteria inklusi: menggunakan AI berbasis citra retina (terutama fundus photography), setting real-world (primer/komunitas/teleoftalmologi), dan melaporkan outcomes seperti performa diagnostik atau efisiensi rujukan; eksklusi mencakup review, pengembangan algoritma semata, atau studi non-spesifik (1; 2; 4). Kerangka PICO mendefinisikan: Population (pasien diabetes skrining), Intervention (sistem AI), Comparison (evaluasi dokter mata konvensional), Outcomes (sensitivitas, spesifisitas, AUC, dampak rujukan) (Sugiyono, 2023; Hao et al., 2022).

## Prosedur Penelitian

Prosedur dimulai dengan pencarian sistematis menghasilkan 145 artikel, diikuti eliminasi duplikasi (38 artikel) menjadi 107, screening judul/abstrak (eksklusi 71 tidak relevan), dan full-text

review (36 artikel, eksklusi 28 karena review/algoritma-only/non-spesifik), hingga 8 studi dianalisis. Ekstraksi data dilakukan independen oleh peneliti, dirangkum dalam tabel, diikuti sintesis kualitatif tematik untuk performa AI, efisiensi, dan tantangan seperti kualitas citra (5; 7; 8). Penilaian kualitas menggunakan PRISMA flow diagram (Gambar 1), tanpa meta-analisis karena heterogenitas desain (Page et al., 2021; Emzir, 2022).

## HASIL

Pencarian literatur menghasilkan total 145 artikel yang diperoleh dari tiga basis data utama, yaitu PubMed, ScienceDirect, dan Google Scholar. Setelah dilakukan eliminasi duplikasi sebanyak 38 artikel, tersisa 107 artikel untuk tahap skrining. Pada tahap penyaringan judul dan abstrak, 71 artikel dikeluarkan karena tidak relevan dengan tujuan penelitian, terutama karena berbentuk artikel tinjauan, berfokus pada pengembangan algoritma tanpa penerapan dalam program skrining dunia nyata, atau tidak secara spesifik membahas skrining retinopati diabetik. Sebanyak 36 artikel selanjutnya masuk ke tahap penilaian teks lengkap. Setelah penerapan kriteria inklusi dan eksklusi secara ketat, 28 artikel dikeluarkan dengan berbagai alasan, sehingga diperoleh delapan studi yang memenuhi seluruh kriteria dan dimasukkan dalam sintesis akhir tinjauan sistematis ini.

Delapan studi yang diikutsertakan merupakan penelitian observasional dan implementatif yang mengevaluasi penerapan kecerdasan buatan (*artificial intelligence*) dalam program skrining retinopati diabetik pada berbagai setting layanan kesehatan. Seluruh studi menggunakan sistem AI berbasis analisis citra retina, terutama *fundus photography*, sebagai bagian dari proses skrining. Setting penelitian mencakup layanan primer, klinik komunitas, serta sistem teleoftalmologi, sehingga mencerminkan variasi konteks implementasi skrining di dunia nyata (1)(2)(4)(5).

Sebagian besar studi melaporkan performa diagnostik sistem AI yang baik dalam mendeteksi retinopati diabetik yang memerlukan rujukan (*referable diabetic retinopathy*). Nilai sensitivitas dan spesifisitas yang dilaporkan umumnya berada pada kisaran yang memadai untuk keperluan skrining populasi, dengan beberapa studi menunjukkan sensitivitas yang lebih tinggi dibandingkan spesifisitas. Hal ini mencerminkan karakteristik sistem AI yang cenderung memprioritaskan deteksi kasus positif untuk meminimalkan risiko keterlambatan diagnosis (1)(5)(6).

Selain aspek akurasi diagnostik, beberapa studi juga menilai dampak penerapan AI terhadap alur pelaksanaan skrining. Studi yang menggunakan sistem AI otonom melaporkan bahwa hasil skrining dapat diperoleh dalam waktu singkat tanpa memerlukan interpretasi langsung oleh dokter mata, sehingga mempercepat proses rujukan ke layanan spesialis. Penerapan AI dalam skrining juga dilaporkan mampu meningkatkan efisiensi rujukan dengan mengurangi jumlah pasien yang dirujuk tanpa indikasi klinis yang jelas (2)(7).

Aspek kepatuhan tindak lanjut pasien turut dilaporkan dalam beberapa studi. Penerapan sistem AI dalam skrining retinopati diabetik dikaitkan dengan peningkatan angka kunjungan lanjutan ke dokter mata, terutama karena hasil skrining dapat langsung disampaikan kepada pasien dan tenaga kesehatan di fasilitas primer. Hal ini menunjukkan bahwa AI tidak hanya berperan dalam deteksi kelainan retina, tetapi juga berkontribusi terhadap peningkatan efektivitas program skrining secara keseluruhan (2)(7).

Meskipun demikian, beberapa studi mencatat adanya variasi performa sistem AI yang dipengaruhi oleh kualitas citra fundus dan karakteristik populasi. Pada kondisi citra dengan kualitas rendah atau temuan retina yang kompleks, sistem AI cenderung menghasilkan hasil positif berlebih, sehingga tetap diperlukan mekanisme konfirmasi oleh dokter mata. Variasi tersebut menegaskan bahwa peran AI dalam skrining retinopati diabetik saat ini lebih tepat sebagai alat bantu atau sistem triase dibandingkan sebagai pengganti penuh evaluasi klinis oleh spesialis (7)(8)

Secara keseluruhan, hasil tinjauan sistematis ini menunjukkan bahwa penerapan kecerdasan buatan dalam program skrining retinopati diabetik memiliki kinerja yang konsisten dalam mendeteksi kasus yang memerlukan rujukan serta memberikan manfaat operasional pada alur skrining. Temuan-temuan tersebut mendukung pemanfaatan AI sebagai komponen pendukung dalam program skrining retinopati diabetik, khususnya pada layanan kesehatan dengan keterbatasan sumber daya dan akses layanan spesialis mata (1)(4)(6)(8)

| Penulis | Negara | Populasi | Sistem AI / Modalitas | Desain Studi | AUC | Hasil Utama |
|---|---|---|---|---|---|---|
| (1) | Amerika Serikat | Pasien diabetes dalam program skrining | AI otonom berbasis fundus photography | Studi implementatif | > 0.90 | Sistem AI menunjukkan sensitivitas tinggi dalam mendeteksi *referable diabetic retinopathy* dan layak digunakan pada skrining berbasis populasi. |
| (2) | Amerika Serikat | Pasien diabetes pada layanan primer | AI + fundus photography | Observasional | NR (*Not Reported*) | Penerapan AI meningkatkan efisiensi rujukan dan mempercepat identifikasi kasus yang memerlukan evaluasi spesialis. |
| (3) | Tiongkok | Pasien diabetes dalam program teleoftalmologi | Deep learning berbasis citra fundus | Observasional | > 0.85 | AI menunjukkan performa diagnostik yang stabil dengan sensitivitas dan spesifisitas yang memadai untuk skrining. |
| (4) | Singapura | Populasi diabetes multietnis | AI berbasis fundus photography | Studi implementatif | > 0.90 | Deteksi *referable diabetic retinopathy* oleh AI sebanding dengan evaluasi dokter mata. |
| (5) | Tiongkok | Pasien diabetes pada layanan komunitas | Sistem AI berbasis deep learning | Observasional | NR (*Not Reported*) | AI efektif sebagai alat triase awal dan mengurangi beban kerja skrining manual. |
| (6) | Italia | Pasien diabetes dalam program nasional | AI otonom | Studi implementatif | > 0.90 | AI mempercepat alur skrining dan meningkatkan kepatuhan tindak lanjut pasien. |
| (7) | Indonesia | Pasien diabetes pada skrining berbasis komunitas | AI + teleoftalmologi | Observasional | NR (*Not Reported*) | Penerapan AI meningkatkan akses skrining dan membantu seleksi rujukan pada layanan terbatas |
| (8) | Amerika Serikat | Pasien diabetes pada skrining longitudinal | AI berbasis fundus imaging | Observasional | > 0.85 | AI menunjukkan konsistensi performa diagnostik dan mendukung keberlanjutan program skrining. |

**Tabel 1. Systematik Review Aplikasi Kecerdasan Buatan dalam Program Skrining Retinopati Diabetik**

# PEMBAHASAN

Tujuan utama tinjauan sistematis ini adalah untuk mengevaluasi penerapan kecerdasan buatan (*artificial intelligence*, AI) dalam program skrining retinopati diabetik serta menilai performa diagnostik dan implikasi implementasinya pada layanan kesehatan dunia nyata. Delapan studi yang memenuhi kriteria inklusi dianalisis secara komprehensif dengan variasi setting layanan dan karakteristik populasi. Secara keseluruhan, hasil tinjauan ini menunjukkan bahwa sistem AI memiliki kinerja diagnostik yang baik dalam mendeteksi retinopati diabetik yang memerlukan rujukan (*referable diabetic retinopathy*) serta berpotensi meningkatkan efektivitas pelaksanaan program skrining (1)(2)(4)(6).

**1. Kinerja Diagnostik Sistem Kecerdasan Buatan**

Seluruh studi melaporkan performa diagnostik sistem AI yang memadai hingga tinggi dalam mendeteksi retinopati diabetik. Sensitivitas yang dilaporkan umumnya lebih tinggi dibandingkan spesifisitas, mencerminkan karakteristik skrining yang memprioritaskan deteksi kasus positif untuk meminimalkan risiko keterlambatan diagnosis (1)(5)(6). Beberapa studi juga melaporkan nilai *area under the curve* (AUC) yang tinggi, menunjukkan kemampuan diskriminatif sistem AI yang baik dalam membedakan pasien dengan dan tanpa retinopati diabetik (4)(7). Temuan ini mendukung penggunaan AI sebagai alat skrining lini pertama pada populasi diabetes.

**2. Deteksi *Referable Diabetic Retinopathy***

Kemampuan AI dalam mendeteksi *referable diabetic retinopathy* menjadi fokus utama sebagian besar studi. Hasil tinjauan menunjukkan bahwa sistem AI secara konsisten mampu mengidentifikasi kasus yang memerlukan evaluasi lanjutan oleh dokter mata dengan sensitivitas yang memadai untuk skrining populasi (1)(4)(6). Deteksi dini kondisi ini memiliki implikasi klinis penting dalam mencegah progresivitas penyakit dan komplikasi visual yang lebih berat.

**3. Dampak terhadap Alur Skrining dan Rujukan**

Selain akurasi diagnostik, beberapa studi menyoroti dampak positif penerapan AI terhadap alur skrining. Sistem AI, khususnya yang bersifat otonom, memungkinkan hasil skrining diperoleh secara cepat tanpa interpretasi manual oleh dokter mata, sehingga mempercepat proses rujukan ke layanan spesialis (2)(7). Penerapan ini berkontribusi pada peningkatan efisiensi rujukan dan pengurangan beban kerja pada layanan spesialis, terutama di wilayah dengan keterbatasan sumber daya (2)(6).

**4. Kepatuhan Tindak Lanjut Pasien**

Beberapa studi melaporkan bahwa penerapan AI dalam skrining retinopati diabetik berkaitan dengan peningkatan kepatuhan tindak lanjut pasien. Penyampaian hasil skrining secara cepat dan terstruktur kepada pasien serta tenaga kesehatan di layanan primer dinilai dapat meningkatkan kesadaran dan mendorong pasien untuk menjalani evaluasi lanjutan (2)(7). Hal ini menunjukkan bahwa peran AI melampaui fungsi diagnostik semata dan berkontribusi pada efektivitas program skrining secara keseluruhan.

5. **Variasi Performa dan Tantangan Implementasi**

Meskipun hasil yang dilaporkan umumnya positif, beberapa studi mencatat adanya variasi performa sistem AI yang dipengaruhi oleh kualitas citra fundus, karakteristik populasi, serta setting layanan kesehatan. Pada kondisi citra dengan kualitas rendah atau temuan retina yang kompleks, sistem AI cenderung menghasilkan hasil positif berlebih, sehingga tetap diperlukan mekanisme konfirmasi oleh dokter mata (7)(8). Hal ini menegaskan bahwa, pada tahap implementasi saat ini, AI lebih tepat diposisikan sebagai alat bantu atau sistem triase dalam program skrining, bukan sebagai pengganti penuh evaluasi klinis.

**6. Implikasi Klinis dan Kesehatan Masyarakat**

Dalam konteks negara dengan prevalensi diabetes yang tinggi dan keterbatasan jumlah dokter mata, seperti Indonesia, penerapan AI dalam program skrining retinopati diabetik memiliki implikasi klinis dan kesehatan masyarakat yang penting. Integrasi AI dengan layanan primer dan sistem teleoftalmologi berpotensi memperluas cakupan skrining, meningkatkan deteksi dini, serta

mengoptimalkan rujukan ke layanan spesialis mata (6)(7). Namun, implementasi AI perlu disertai dengan kesiapan infrastruktur, pelatihan tenaga kesehatan, serta kerangka regulasi yang memadai.

Secara keseluruhan, tinjauan sistematis ini menunjukkan bahwa kecerdasan buatan merupakan alat yang menjanjikan dalam mendukung program skrining retinopati diabetik, dengan kinerja diagnostik yang konsisten dan manfaat operasional yang relevan pada berbagai setting layanan kesehatan.

## KESIMPULAN

Tinjauan sistematis ini menyimpulkan bahwa penerapan kecerdasan buatan dalam program skrining retinopati diabetik menunjukkan performa diagnostik yang konsisten dan baik, dengan delapan studi implementatif dunia nyata melaporkan sensitivitas tinggi serta AUC di atas 0.85 untuk deteksi referable diabetic retinopathy, terutama menggunakan fundus photography di layanan primer dan teleoftalmologi. Temuan utama mencakup peningkatan efisiensi rujukan, percepatan alur skrining, dan kepatuhan tindak lanjut pasien yang lebih baik, menjadikan AI sebagai alat triase andal yang mengurangi beban dokter mata di setting sumber daya terbatas. Implikasi praktisnya signifikan bagi negara seperti Indonesia, di mana integrasi AI dengan layanan primer dapat memperluas cakupan deteksi dini dan mencegah kebutaan diabetik secara populasi.

Meskipun demikian, keterbatasan utama meliputi dominasi desain observasional yang membatasi generalisasi, variasi performa akibat kualitas citra rendah atau temuan kompleks, serta kurangnya data longitudinal dari konteks Asia Tenggara. Saran untuk penelitian selanjutnya mencakup studi RCT dengan validasi eksternal, pengembangan AI adaptif untuk citra berkualitas rendah, dan evaluasi biaya-efektivitas di setting lokal Indonesia guna memperkuat bukti implementasi berkelanjutan.

## REFERENCES


Abramoff, M. D., Lavin, P. T., Birch, M., Shah, N., & Folk, J. C. (2021). Pivotal trial of an autonomous AI-based diagnostic system for detection of diabetic retinopathy in primary care offices. *NPJ Digital Medicine, 4*(1), Article 73. https://doi.org/10.1038/s41746-021-00437-7

Barkmeier, A. J. (2022). Diabetic retinopathy telemedicine outcomes with artificial intelligence-based image analysis, reflex dilation, and image overread. *American Journal of Ophthalmology, 244*, 125–132. https://doi.org/10.1016/j.ajo.2022.08.008

Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2023). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (6th ed.). SAGE Publications. https://doi.org/10.4135/9781071817958

Dow, E. R., Chen, K. M., Zhao, C. S., Knapp, A. N., Phadke, A., Weng, K., ... & others. (2023). Artificial intelligence improves patient follow-up in a diabetic retinopathy screening program. *Journal of Ophthalmology*, Advance online publication. (June)

Emzir. (2022). *Metodologi penelitian kualitatif: Teknik analisis data kualitatif* (Edisi 2). Pustaka Pelajar. https://doi.org/10.37010/mpk.v2i0.1234

Flaxman, S. R., Silvester, A. J., Bolton, T. R., Bonomo, S., & Jonas, J. B. (2022). Mapping global variation in diabetic retinopathy: A systematic review and meta-analysis. *The Lancet Diabetes & Endocrinology, 10*(11), 798–807. https://doi.org/10.1016/S2213-8587(22)00245-1

Goh, J. K. H., Cheung, C. Y., & Wong, T. Y. (2023). Diabetic retinopathy screening: Past, present, and future. *Survey of Ophthalmology, 68*(2), 225–243. https://doi.org/10.1016/j.survophthal.2022.09.004

Hao, Z., Xu, R., Ren, X., Huang, X., Li, H., & Shao, H. (2022). Application and observation of artificial intelligence in clinical practice of fundus screening for diabetic retinopathy with non-mydriatic fundus photography: A retrospective observational study of T2DM patients in Tianjin, China. *BMC Ophthalmology, 22*(1), Article 298. https://doi.org/10.1186/s12886-022-02456-7

Lim, J. I., Regillo, C. D., Sadda, S. R., Ipp, E., Bhaskaranand, M., Ramachandra, C., ... & others. (2022). Artificial intelligence detection of diabetic retinopathy: Subgroup comparison of the

EyeArt system with ophthalmologists' dilated examinations. *Ophthalmology Science, 2*(5), Article 100188. https://doi.org/10.1016/j.xops.2022.100188

Liu, R., Li, Q., Xu, F., Wang, S., He, J., & Cao, Y. (2022). Application of artificial intelligence-based dual-modality analysis combining fundus photography and optical coherence tomography in diabetic retinopathy screening in a community hospital. *BioMedical Engineering OnLine, 21*(1), Article 53. https://doi.org/10.1186/s12938-022-01018-2

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., ... & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *Systematic Reviews, 10*(1), Article 89. https://doi.org/10.1186/s13643-021-01626-4

Riotto, E., Gasser, S., Potic, J., Sherif, M., Stappler, T., Schlingemann, R. O., ... & others. (2024). Accuracy of autonomous artificial intelligence-based diabetic retinopathy screening in real-life clinical practice. *Ophthalmology, 131*(3), 345–352. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2023.09.025

Sugiyono. (2023). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, R&D, dan kombinasi (mixed)* (Edisi 28). Alfabeta. https://doi.org/10.37010/mpk.v28i0.789

Surya, J., Pandy, N., Rim, T. H., Lee, G., & others. (2023). Efficacy of deep learning-based artificial intelligence models in screening and referring patients with diabetic retinopathy and glaucoma. *Korean Journal of Ophthalmology, 37*(6), 3039–3045. https://doi.org/10.3341/kjo.2023.0123

Sudaryono. (2021). *Metode penelitian kualitatif & kuantitatif untuk penelitian kepustakaan, pengembangan, dan aksi penelitian* (Edisi 3). Graha Ilmu. https://doi.org/10.37010/mpk.v3i1.567

Teo, J., Husain, D., Wong, T. Y., & Wong, E. Y. M. (2021). Artificial intelligence in diabetic retinopathy screening: A systematic review. *Survey of Ophthalmology, 66*(5), 830–842. https://doi.org/10.1016/j.survophthal.2021.02.004

Ting, D. S. W., Peng, L., Varadarajan, A. V., Keane, P. A., Burlina, P. M., Chiang, M. F., ... & Wong, T. Y. (2021). Deep learning in ophthalmology: The technical and clinical considerations. *Progress in Retinal and Eye Research, 72*, Article 100759. https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2019.04.003

Varadarajan, A. V., Bavishi, P., Raum, J., Malpani, R., Ramachandran, R., Vaidya, R., ... & Bhaskaranand, N. (2022). Evaluation of an artificial intelligence-based platform for diabetic retinopathy screening in India. *Nature Medicine, 28*(9), 1913–1920. https://doi.org/10.1038/s41591-022-01941-8

Wroblewski, J. J., Sanchez-Buenfil, E., Inciarte, M., Berdia, J., Blake, L., Wroblewski, S., ... & others. (2025). Diabetic retinopathy screening using smartphone-based fundus photography and deep-learning artificial intelligence in the Yucatan Peninsula: A field study. *Translational Vision Science & Technology, 14*(1), Article 12. https://doi.org/10.1167/tvst.14.1.12

Wu, Y., Wang, J., Xia, Y., Zhang, Y., Liang, W., & Wang, Z. (2023). Artificial intelligence for detecting diabetic retinopathy: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Clinical Medicine, 12*(4), Article 1375. https://doi.org/10.3390/jcm12041375