

**PENERAPAN COMPUTER VISION UNTUK KLASIFIKASI
PENYAKIT MATA MENGGUNAKAN ARSITEKTUR VISION
TRANSFORMERS PADA CITRA FUNDUS**

SKRIPSI

IRVAN YUDISTIANSYAH

20210040082



**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNIK, KOMPUTER DAN DESAIN
UNIVERSITAS NUSA PUTRA
SUKABUMI
2025**

**PENERAPAN COMPUTER VISION UNTUK KLASIFIKASI
PENYAKIT MATA MENGGUNAKAN ARSITEKTUR VISION
TRANSFORMERS PADA CITRA FUNDUS**

SKRIPSI

*Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Dalam Menempuh
Gelar Sarjana Di Program Studi Teknik Informatika*

IRVAN YUDISTIANSYAH

20210040082



**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNIK, KOMPUTER DAN DESAIN
UNIVERSITAS NUSA PUTRA
SUKABUMI**

2025

PERNYATAAN PENULIS

JUDUL : **PENERAPAN COMPUTER VISION UNTUK KLASIFIKASI
PENYAKIT MATA MENGGUNAKAN ARSITEKTUR VISION
TRANSFORMER PADA CITRA FUNDUS**

NAMA : IRVAN YUDISTIANSYAH

NIM 20210040082

Saya menyatakan dan bertanggung jawab dengan sebenarnya bahwa skripsi ini adalah hasil karya sendiri kecuali cuplikan dan ringkasan yang masing-masing telah dijelaskan sumbernya. Jika pada waktu selanjutnya ada pihak lain yang mengklaim bahwa skripsi ini sebagai karyanya, yang disertai dengan bukti-bukti yang cukup, maka penulis bersedia untuk dibatalkan gelar sarjana komputer beserta segala hak dan kewajiban yang melekat pada gelar tersebut.



Irvan Yudistiansyah

PENGESAHAN SKRIPSI

JUDUL : **PENERAPAN COMPUTER VISION UNTUK KLASIFIKASI
PENYAKIT MATA MENGGUNAKAN ARSITEKTUR VISION
TRANSFORMERS (VITS) PADA CITRA FUNDUS**

NAMA : IRVAN YUDISTIANSYAH

NIM 20210040082

Skripsi ini telah diujikan dan dipertahankan di depan Dewan Penguji pada sidang skripsi tanggal 13 Agustus 2025 menurut pandangan kami, skripsi ini memadai dari segi kualitas untuk tujuan penganugerahan gelar sarjana komputer (S.Kom).

Sukabumi 13 Agustus 2025

Pembimbing I

Pembimbing II

Indra Yustiana, ST., M.Kom
NIDN. 0409017604

M. Ikhsan Thohir, M.Kom
NIDN. 0415049302

Ketua Penguji

Ketua Program Studi

Ivana Lucia Kharisma, M.Kom
NIDN. 0429038002

Ir. Somantri, S.T, M.Kom
NIDN. 0419128801

PLH Dekan Fakultas Teknik, Komputer dan Desain

Ir. Paikun, S.T, M.T, IPM., Asean Eng
NIDN. 0402037401



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik UNIVERSITAS NUSA PUTRA, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

NAMA : Irvan Yudistiansyah

Nim 20210040082

Program Studi : Teknik Informatika

Jenis Karya : Tugas Akhir

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Nusa Putra **Hak Bebas Royalti Non Eksklusif (*Non exclusive Royalty Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**PENERAPAN COMPUTER VISION UNTUK KLASIFIKASI PENYAKIT MATA
MENGUNAKAN ARSITEKTUR VISION TRANSFORMER PADA CITRA
FUNDUS**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non Eksklusif ini Universitas Nusa Putra berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di: Sukabumi

Pada tanggal :

Yang menyatakan

(Irvan Yudistiansyah)

KATA PENGATAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat, karunia, dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “penerapan computer vision untuk klasifikasi penyakit mata pada citra fundus” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana komputer pada program studi teknik informatika di universitas nusa putra.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis memperoleh banyak bantuan, bimbingan, dan dukungan dari segala pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya dan setulus-tulusnya kepada:

1. Bapak Dr. Kurniawan, ST., M.Si., MM. selaku Rektor Universitas Nusa Putra Sukabumi.
2. Bapak Anggi Pradifta Junfithrana, S.Pd., M.T selaku Wakil Rektor Universitas Nusa Putra Sukabumi.
3. Bapak Ir. Somantri, S.T, M.Kom selaku Ketua Program Studi Teknik Informatika.
4. Bapak Indra Yustiana, S.T., M.Kom dan Bapak Muhammad Ikhsan Thohir, M.Kom selaku dosen pembimbing yang telah memberikan dukungan, ilmu, dan menyediakan waktu, tenaga, pikiran untuk membimbing dan membantu penulis dalam kelancaran proses penyelesaian skripsi ini. Semoga segala bantuan dan ketulusan yang diberikan mendapatkan balasan terbaik dari Allah SWT.
5. Keluarga tercinta yang senantiasa memberikan doa, semangat, dan dukungan penuh yaitu Ayahanda penulis Bpk. Yudi Priyanto, Ibunda tercinta Ibu. Isti Maryuni, dan Adik penulis Devia Putri Yudi Rahmawati. Kehadiran mereka menjadi sumber kekuatan dan inspirasi yang luar biasa dalam setiap langkah yang penulis jalani.
6. Kepada seseorang yang Tak kalah pentingnya, Siti Khoerunisa, sebagai partner spesial penulis, terimakasih selalu mendukung ketika penulis berada di titik terendah selama proses pengerjaan skripsi ini. Semoga segala kebaikan menjadi berkah dalam setiap langkah yang lebih baik.
7. Teman-teman seperjuangan teknik informatika khususnya TI21E terimakasih sudah menjadi rekan sekaligus keluarga kedua yang selalu solid.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak sangat diharapkan demi perbaikan karya ini dimasa mendatang, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.

Amiin Yaa Rabbal'alamiin.

Sukabumi,.....2025

Irvan Yudistiansyah



ABSTRAK

Penyakit mata seperti katarak, glaucoma, dan diabetic retinopathy merupakan penyebab utama kebutaan yang dapat dicegah jika dideteksi secara dini, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem klasifikasi penyakit mata menggunakan arsitektur vision transformer menggunakan citra fundus, data yang digunakan terdiri dari 4.028 citra fundus yang terbagi secara seimbang kedalam empat kelas yaitu, katarak, glaucoma, diabetic retinopathy, dan normal. Model vision transformer dilatih melalui tahapan preprocessing, augmentasi, fine-tuning, dan evaluasi menggunakan metrik seperti akurasi, presisi, recall, dan f1-score. Hasil pengujian menunjukkan bahwa model vision transformer mampu mengklasifikasikan penyakit mata dengan akurasi tinggi dan performa stabil di seluruh kelas. Model ini juga mampu mengenali ciri khas masing-masing penyakit secara efektif, membuktikan keunggulan vision transformer dalam memahami konteks visual global citra medis.

Dari penelitian ini menyatakan bahwa vision transformer dapat digunakan secara efektif dalam sistem deteksi otomatis penyakit mata menggunakan citra fundus, meskipun masih memerlukan optimalisasi lebih lanjut untuk penggunaan perangkat dengan sumber daya terbatas. Sistem ini diharapkan dapat membantu proses deteksi dini dan mengurangi beban kerja tenaga medis.

kata kunci : vision transformer, citra fundus, klasifikasi penyakit mata, deep learning, computer vision

ABSTRACT

Eye diseases such as cataracts, glaucoma, and diabetic retinopathy are leading causes of blindness that can be prevented if detected early. This study aims to develop an eye disease classification system using a vision transformer architecture using fundus images. The data used consisted of 4,028 fundus images evenly divided into four classes: cataracts, glaucoma, diabetic retinopathy, and normal. The vision transformer model underwent preprocessing, augmentation, fine-tuning, and evaluation using metrics such as accuracy, precision, recall, and f1-score. Test results showed that the vision transformer model was able to classify eye diseases with high accuracy and stable performance across all classes. This model was also able to effectively recognize the characteristics of each disease, demonstrating the superiority of the vision transformer in understanding the global visual context of medical images.

This study suggests that the vision transformer can be effectively used in an automated eye disease detection system using fundus images, although further optimization is still needed for use with devices with limited resources. This system is expected to facilitate early detection and reduce the workload of medical personnel.

Keywords: vision transformer, fundus image, eye disease classification, deep learning, computer vision

DAFTAR ISI

PERNYATAAN PENULIS.....	ii
PENGESAHAN SKRIPSI.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	iv
KATA PENGATAR.....	v
ABSTRAK.....	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terkait	5
2.2 Landasan Teori.....	12
2.2.1 Klasifikasi.....	12
2.2.2 Mata.....	12
2.2.3 Penyakit mata	13
2.2.4 Deep Learning	16
2.2.5 Vision Transformers	16
2.2.6 Komponen Arsitektur Vision Transformers	19
2.2.7 Model Vision Transformers	20
2.2.8 Tahapan Kinerja Vision Transformers	21
2.2.9 Confusion Matrix dan Classification Report	22
2.3 Metodologi Pengembangan Perangkat Lunak.....	24
2.4 Sumber Data.....	27

2.4.1	Dataset	27
2.4.2	Validasi Dataset.....	27
2.5	Kerangka Pemikiran	28
BAB III		30
METODOLOGI PENELITIAN.....		30
3.1	Tahapan penelitian.....	30
3.2	Metode Pengumpulan Data.....	35
3.3	Validasi Dataset.....	37
3.3.1	Proses Validasi Medis	37
3.3.2	Anotasi Label.....	37
3.3.3	Consensus Ahli	37
3.3.4	Standar Klinis	37
3.4	Metodologi Penelitian.....	38
3.3.1	Pengumpulan Data.....	38
3.3.2	Eksplorasi Data.....	39
3.3.3	Preprocessing Data	39
3.3.4	Perancangan Model Vision Transformer.....	39
3.3.5	Pelatihan Model	40
3.3.6	Evaluasi Model	40
3.3.7	Analisis dan Interpretasi Hasil	41
3.5	Perangkat Keras dan Lunak	41
3.4.1	Perangkat Keras.....	41
3.4.2	Perangkat Lunak	42
3.6	Platform Komputasi Cloud	43
3.7	Pengembangan Sistem.....	43
3.6.1	Analisis Kebutuhan.....	44
3.6.2	Perancangan sistem.....	44
3.6.3	Implementasi.....	46
3.6.4	Pengujian	47
3.6.5	Penerapan sistem (Deployment).....	47
BAB IV		49
HASIL DAN PEMBAHASAN.....		49
4.1	Dataset.....	49
4.2	Validasi Medis.....	Error! Bookmark not defined.

4.3	Preprocessing dan Augmentasi Data.....	51
4.4	Arsitektur Model Vision Transformer.....	54
4.5	Pembuatan Model Vision Transformer	55
4.6	Hasil Pelatihan Model.....	58
4.7	Visualisasi Hasil	63
4.8	Implementasi sistem Deteksi Penyakit Mata.....	64
4.9	Pembahasan	69
BAB V		71
KESIMPULAN DAN SARAN.....		71
5.1	Kesimpulan.....	71
5.2	Saran.....	72
TINJAUAN PUSTAKA		74
RIWAYAT HIDUP		78



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Salah Satu Citra Fundus Normal.....	13
Gambar 2. 2 Salah Satu Citra Penyakit Mata Katarak	14
Gambar 2. 3 Salah Satu Citra Penyakit Mata Glaukoma	14
Gambar 2. 4 Salah Satu Citra Penyakit Mata Retinopati Diabetik	15
Gambar 2. 5 Ilustrasi proses kinerja vision transformer.....	21
Gambar 2. 6 Contoh Confusion Matrix	23
Gambar 2. 7 Kerangka Pemikiran.....	28
Gambar 3. 1 Tahapan Penelitian	30
Gambar 3. 2 sampel dataset penyakit mata.....	36
Gambar 4. 1 Potongan Code Untuk Mengakses Dataset	49
Gambar 4. 2 Code Preprocessing Data	52
Gambar 4. 3 Diagram Alur Arsitektur Vision Transformer	54
Gambar 4. 4 Gambar Pembuatan Model VIT	56
Gambar 4. 5 Ringkasan Arsitektur Model Vision Transformer	57
Gambar 4. 6 Kurva Pembelajaran Model.....	59
Gambar 4. 7 Confusion Matrix	60
Gambar 4. 8 Diagram Alur Website	65
Gambar 4. 9 halaman awal website	67
Gambar 4. 10halaman upload	67
Gambar 4. 11 halaman hasil klasifikasi penyakit mata katarak	68
Gambar 4. 12 halaman hasil klasifikasi penyakit mata glaukoma	68
Gambar 4. 13 halaman hasil klasifikasi penyakit mata diabetic retinopathy	69
Gambar 4. 14 halaman hasil klasifikasi mata normal	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terkait	5
Tabel 3. 1 Spesifikasi Perangkat Keras.....	41
Tabel 3. 2 Spesifikasi Perangkat Lunak.....	42
Tabel 4. 1 Data Citra Pada Setiap Kelas	50
Tabel 4. 2 Hasil Preprocessing.....	53
Tabel 4. 3 Laporan Hasil Klasifikasi Report.....	62
Tabel 4. 4 Contoh Visualisasi Hasil Klasifikasi Model ViT	63



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penyakit mata merupakan salah satu masalah kesehatan yang berdampak pada kualitas hidup manusia di seluruh dunia. Penyakit seperti retinopati diabetik, glaucoma, dan katarak sering kali tidak menunjukkan gejala awal yang jelas, sehingga diagnosis dini menjadi sangat penting untuk mencegah kebutaan permanen. Badan Pusat Statistik (BPS) mencatat bahwa pada tahun 2022, terdapat 8 juta kasus hilangnya penglihatan di Indonesia, termasuk 272 ribu orang yang mengalami kebutaan dan sekitar 700 ribu orang mengalami kesulitan melihat[1]. Salah satu metode utama dalam mendeteksi penyakit mata adalah dengan menggunakan citra fundus, yaitu gambar bagian belakang mata (retina) yang memberikan informasi penting mengenai kondisi kesehatan mata.

Penyakit mata semakin meningkat, terutama pada kelompok usia yang lebih tua, dan berpotensi menyebabkan gangguan penglihatan dan kehilangan penglihatan secara permanen jika tidak ditangani dengan baik. Namun, masih banyak kasus kesalahan atau keterlambatan diagnosis sehingga dapat mengurangi efektivitas pengobatan dan meningkatnya risiko komplikasi yang lebih serius.

Secara global, katarak merupakan penyebab utama kebutaan, menyumbang sekitar 33% kasus kebutaan dunia dengan lebih dari 94 juta penderita pada tahun 2020. Glaucoma, yang sering disebut sebagai pencuri penglihatan karena gejalanya sulit terdeteksi, telah menyerang lebih dari 80 juta orang pada tahun 2020 dan diproyeksikan meningkat menjadi 111 juta pada tahun 2040, sementara retinopati diabetik menjadi komplikasi serius dari diabetes, dengan data menunjukkan bahwa 1 dari 3 penderita diabetes mengalami diabetik retinopati, dan 1 dari 10 penderita bentuk yang mengancam penglihatan. Diabetik retinopati juga menyumbang lebih dari 3,9 juta kasus kebutaan di seluruh dunia [WHO,2023].

Di Indonesia, katarak menjadi penyebab utama kebutaan dengan kontribusi lebih dari 81,2% kasus gangguan penglihatan[2]. Selama ini, metode diagnosis katarak dan

penyakit mata lain seperti glaucoma maupun diabetic retinopati masih banyak mengandalkan pemeriksaan manual menggunakan *slit lamp*, *ophthalmoscopy*, serta interpretasi citra fundus oleh dokter spesialis mata. Namun, pemeriksaan dan interpretasi citra fundus secara manual membutuhkan tenaga ahli yang berpengalaman. Keterbatasan dokter spesialis mata terutama pada daerah terpencil menjadi tantangan tersendiri dalam pemeriksaan kesehatan mata[3].

Seiring dengan berkembangnya teknologi kecerdasan buatan, khususnya dalam bidang *computer vision*, telah muncul berbagai metode untuk mendeteksi penyakit mata secara otomatis dengan menggunakan citra fundus. Salah satu pendekatan terbaru adalah penggunaan *vision transformers*, *vision transformers* mampu menangkap hubungan antar bagian citra secara lebih efektif melalui mekanisme self-attention[4][5]. Vision transformer berpotensi dalam meningkatkan akurasi dan kecepatan deteksi penyakit mata berbasis citra fundus[6].

Penelitian ini menggunakan citra fundus yang diperoleh dari beberapa sumber terbuka. Dataset utama diperoleh dari sumber *Kaggle*, yaitu *preprocessed eye diseases fundus images*, *combined fundus image* dan RFMiD, yang merupakan gabungan dari beberapa dataset internasional seperti ODIR, Bajwa Hospital, RFMiD, dan SMDG-19. Dataset ini mencakup empat kelas utama penyakit mata, yaitu katarak, glaucoma, diabetic retinopati, dan normal. Dataset yang digunakan telah melalui proses validasi medis oleh dokter spesialis mata di institusi penyedia, sehingga label data mencerminkan kondisi klinis nyata dan layak digunakan untuk penelitian[7], [8], [9]. Selanjutnya, validasi tambahan juga dilakukan melalui analisis pelatihan model, guna memastikan konsistensi dan keandalan data yang digunakan dalam penelitian.

Dalam fokus penelitian ini untuk mendukung upaya dalam mencegah kebutaan akibat keterlambatan diagnosis maka dibuatlah sebuah sistem pendeteksi otomatis yang mampu mengolah data citra secara efektif, dengan menggunakan arsitektur vision transformer yang menawarkan pendekatan dalam memahami konteks visual secara menyeluruh sehingga berpotensi untuk meningkatkan akurasi dari hasil klasifikasi[10].

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pada latar belakang di atas, penulis merumuskan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana penerapan arsitektur *vision transformers* untuk mendeteksi penyakit mata menggunakan citra fundus?
2. Bagaimana performa dari arsitektur *vision transformers* dalam mendeteksi penyakit mata ?
3. Bagaimana merancang dan membangun sistem deteksi penyakit mata berbasis citra fundus dengan menggunakan arsitektur *vision transformer*?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini tidak melebar, maka ada adapun batasan masalahnya adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini dibatasi pada deteksi penyakit mata tertentu, yaitu katarak, glaucoma, dan diabetic retinopathy, tanpa mencakup jenis penyakit mata lainnya.
2. Metode dalam penelitian ini hanya menggunakan arsitektur *vision transformer* sebagai pendekatan utama untuk analisis citra mata.
3. Sistem ini bertujuan sebagai alat bantu deteksi dini bagi tenaga medis, namun bukan untuk menggantikan diagnosis resmi yang dilakukan oleh tenaga medis.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengimplementasikan arsitektur *vision transformer* kedalam sistem aplikasi yang mampu melakukan klasifikasi penyakit mata secara otomatis.
2. Menganalisis hasil performa arsitektur *vision transformer* dalam mengklasifikasi kondisi kesehatan mata dari citra fundus.
3. Mengembangkan sistem deteksi penyakit mata berbasis citra fundus menggunakan arsitektur *vision transformer*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini meliputi:

1. Mengotomatiskan proses klasifikasi penyakit mata ini dapat meningkatkan efisiensi dalam proses diagnosis yang dapat mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk klasifikasi penyakit mata.
2. Analisis performa dapat memberikan hasil mengenai performa model dalam klasifikasi penyakit mata yang dapat membantu dalam pengambilan keputusan dan memberikan wawasan tentang efektivitasnya, yang dapat menjadi dasar untuk penelitian lebih lanjut untuk pengembangan model yang lebih baik.
3. pengembangan sistem deteksi berbasis citra fundus ini tidak hanya menawarkan solusi inovatif untuk masalah kesehatan mata, tetapi juga dapat diintegrasikan dengan layanan kesehatan dengan memperluas akses dan dampak positif terhadap perawatan pasien dan upaya ini diharapkan dapat mengurangi angka kebutaan.

1.6 Sistematika Penulisan

Memberikan gambaran secara garis besar, dalam hal ini dijelaskan isi per bab dari tugas akhir ini. Berikut sistematika penulisan yang dibuat oleh penulis :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan skripsi. Bab ini menjelaskan alasan mengapa penelitian ini dilakukan dan apa yang ingin dicapai.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas mengenai teori-teori pendukung yang berkaitan dengan penelitian, seperti konsep computer vision, pengolahan citra, teori mengenai vision transformer, dan penelitian-penelitian terdahulu yang relevan dalam mendukung penelitian ini.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi penjelasan lengkap secara menyeluruh mengenai bagaimana sistem dibangun dengan mencakup berbagai informasi mulai dari persiapan data, hingga proses pengembangan arsitektur vision transformer.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil implementasi hasil sistem deteksi mata menggunakan vision transformer, evaluasi performa sistem, analisis hasil pengujian, serta pembahasan terhadap keberhasilan dan kendala yang dihadapi dalam penelitian.

BAB V : PENUTUP

Bab ini merupakan penutup dari skripsi yang menyajikan rangkuman dari keseluruhan penelitian.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan tentang penerapan arsitektur vision transformer untuk klasifikasi penyakit mata pada citra fundus, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Penerapan arsitektur vision transformer berhasil diimplementasikan dalam sistem klasifikasi penyakit mata berbasis citra fundus, sistem yang dibangun mampu mengklasifikasikan empat kategori kondisi mata yaitu, normal, katarak, glaucoma, dan diabetic retinopathy. Model dikembangkan menggunakan vit-base patch 16-224 yang telah di preprocessing pada ImageNet dan kemudian di fine-tuning dengan dataset citra fundus. Sistem ini kemudian diintegrasikan kedalam aplikasi berbasis website menggunakan streamlit yang memungkinkan pengguna untuk mengunggah gambar dan memperoleh hasil klasifikasi secara cepat dan praktis.
2. Model vision transformer menunjukkan performa klasifikasi yang tinggi dan stabil pada seluruh kelas penyakit, berdasarkan evaluasi menggunakan data uji, model mencapai akurasi sebesar 91,38%, precision rata-rata 91,40%, recal rata-rata 91,37%, dan f1-score sebesar 91,36. Hal ini menunjukkan bahwa vision transformer memiliki kemampuan generalisasi yang baik terhadap data baru dan mampu mengenali pola penyakit secara konsisten. Confusion matrix menunjukkan hasil klasifikasi yang akurat.
3. Sistem deteksi otomatis berbasis vision transformer memiliki potensi besar sebagai alat bantu diagnosis dini,. Sistem ini mampu memberikan prediksi cepat dan akurat dari citra fundus secara mandiri tanpa intervensi tenaga ahli secara langsung dengan tampilan antarmuka yang sederhana, sistem ini dapat digunakan oleh masyarakat umum sebagai upaya awal dalam mendeteksi kondisi mata, sehingga diharapkan dapat membantu dalam pencegahan kebutaan akibat keterlambatan diagnosis.

4. Model vision transformer mampu memahami dan mengenali ciri visual khas dari masing-masing penyakit secara global, berkat mekanisma self-attention, vision transformer tidak hanya melihat fitur lokasi seperti CNN, namun mampu memahami keseluruhan struktur visual citra fundus, termasuk pola pembuluh darah dan perubahan struktur yang khas pada penyakit seperti diabetic retinopathy, dan glaucoma. Hal menjadikan vision transformer sebagai arsitektur yang efektif dalam analisis citra medis yang kompleks.
5. Teknik augmentasi data dan fine-tuning terbukti meningkatkan performa dan kemampuan generalisasi model, dengan menggunakan augmentasi seperti rotasi, flipping, dan zooming, memperkaya variasi data pelatihan, mengurangi overfitting, serta meningkatkan kemampuan model untuk tetap bekerja dengan baik walaupun ada gangguan atau perubahan kecil pada data.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan yang telah dipaparkan, mengenai klasifikasi penyakit mata menggunakan arsitektur vision transformer pada citra fundus, beberapa saran yang dapat diberikan untuk dijadikan acuan untuk pengembangan lebih lanjut:

1. Perluas dataset dengan variasi yang lebih beragam untuk meningkatkan kemampuan generalisasi model, disarankan menggunakan dataset yang lebih besar dan beragam mencakup lebih banyak jenis penyakit mata serta citra dari berbagai sumber.
2. Optimalisasi model untuk perangkat dengan sumber daya terbatas karena vision transformer ini membutuhkan daya komputasi yang tinggi, untuk penggunaan lingkungan nyata, terutama pada fasilitas kesehatan dengan keterbatasan perangkat, perlu dilakukan optimalisasi model seperti *model quantization*, *pruning*, atau penggunaan *lightweight vit* agar model menjadi lebih ringan dan efisien.
3. Integrasi sistem dengan perangkat medis dan rekam medis elektronik, sistem yang telah dikembangkan dapat ditingkatkan dengan mengintegrasikannya kedalam perangkat medis elektronik untuk mendukung praktik klinis yang lebih terpadu.

4. Penambahan fitur interpretasi hasil dan heatmap visualisasi, untuk meningkatkan kepercayaan pengguna dan membantu tenaga medis memahami hasil klasifikasi, seperti sistem dapat dilengkapi dengan visualisasi attention map atau grad-cam untuk menunjukan area citra yang paling berkontribusi dalam proses kalsifikasi.
5. Uji coba lapangan dan validasi klinis, sebagai langkah selanjutnya, sistem ini perlu di uji melalui uji coba lapangan di klinik mata atau rumah sakit, serta divalidasi oleh tenaga medis professional untuk memastikan bahwa model hasil deteksi memiliki nilai klinis yang bisa diandalkan.



TINJAUAN PUSTAKA

- [1] Nadhifa Aurellia Wirawan, "Angka Kebutaan dan Gangguan Penglihatan di Indonesia Tembus 8 Juta Kasus," 2024, [Daring]. Tersedia pada: <https://data.goodstats.id/statistic/angka-kebutaan-dan-gangguan-penglihatan-di-indonesia-tembus-8-juta-kasus-1buXL>
- [2] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, "Katarak Penyebab Terbanyak Gangguan Penglihatan di Indonesia," 2022. [Daring]. Tersedia pada: <https://kemkes.go.id/id/katarak-penyebab-terbanyak-gangguan-penglihatan-di-indonesia>
- [3] C. Jatmoko dan H. Lestiawan, "Seminar Nasional Riset dan Inovasi Teknologi (SEMNAS RISTEK) 2024 Jakarta," 2024.
- [4] T. K. Cherukuri, N. S. Shaik, dan D. H. Ye, "Guided Context Gating: Learning To Leverage Salient Lesions in Retinal Fundus Images," *Proceedings - International Conference on Image Processing, ICIP*, hlm. 3098–3104, 2024, doi: 10.1109/ICIP51287.2024.10647604.
- [5] M. Yurdakul, K. Uyar, dan Ş. Taşdemir, "MaxGlaViT: A Novel Lightweight Vision Transformer-Based Approach for Early Diagnosis of Glaucoma Stages From Fundus Images," *Int J Imaging Syst Technol*, vol. 35, no. 4, 2025, doi: 10.1002/ima.70159.
- [6] D. Untuk, M. Sebagian, P. Dalam, dan M. Gelar, "KLASIFIKASI PENYAKIT MATA PADA MANUSIA DENGAN MENGGUNAKAN MODEL ARSITEKTUR VISION TRANSFORMERS SKRIPSI Oleh: SENTIA OVANIA PURBA 198160066 PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK INFORMATIKA FAKULTAS TEKNIK."
- [7] R. Rawat, "Combined Fundus Images," 2022. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.kaggle.com/datasets/rohitrawat25/combined-fundus-images>
- [8] G. V. Doddi, "Preprocessed Eye Diseases Fundus Images," 2021. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.kaggle.com/datasets/gunavenkatdoddi/preprocessed-eye-diseases-fundus-images>
- [9] S. Panchal *dkk.*, "Retinal Fundus Multi-Disease Image Dataset (RFMiD) 2.0: A Dataset of Frequently and Rarely Identified Diseases," *Data (Basel)*, vol. 8, no. 2, hlm. 1–16, 2023, doi: 10.3390/data8020029.
- [10] G. Bortsova *dkk.*, "Adversarial attack vulnerability of medical image analysis systems: Unexplored factors," *Med Image Anal*, vol. 73, hlm. 102141, 2021, doi: 10.1016/j.media.2021.102141.
- [11] A. Sindar, F. Ginting, dan S. Ramen, "Nomor 2," *Agustus*, vol. 22, hlm. 432–439, 2023, [Daring]. Tersedia pada:

<https://www.kaggle.com/datasets/andrewmvd/ocular-disease-recognition-odir5k/>.

- [12] C. Jatmoko dan H. Lestiawan, "Seminar Nasional Riset dan Inovasi Teknologi (SEMNAS RISTEK) 2024 Jakarta," 2024.
- [13] K. Alifian Hernanda Wibowo, "Indonesian Journal of Mathematics and Natural Sciences Klasifikasi Diabetic Retinopathy Menggunakan CNN dengan Arsitektur yang Dimodifikasi." [Daring]. Tersedia pada: <http://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/JM>
- [14] M. A. Ardyansyah dan Gunawansyah, "Sistem Deteksi Level Diabetic Retinopathy Melalui Citra Fundus Mata dengan Menggunakan Metode CNN (Convolutional Neural Network)," *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, vol. 7, no. 4, hlm. 1673–1682, Okt 2023, doi: 10.33379/gtech.v7i4.3332.
- [15] S. Yesua dan D. Udjulawa, "Klasifikasi Penyakit Mata pada Citra Fundus Menggunakan VGG-16," 2024. [Daring]. Tersedia pada: <http://jurnal.mdp.ac.id>
- [16] E. Andreas, W. Widhiarso, K. Kunci, dan P. Mata Katarak, "2 ND MDP STUDENT CONFERENCE (MSC) 2023 Universitas Multi Data Palembang | 107 KLASIFIKASI PENYAKIT MATA KATARAK MENGGUNAKAN CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK DENGAN ARSITEKTUR INCEPTION V3", [Daring]. Tersedia pada: <https://www.kaggle.com/jr2ngb/cataractdataset>
- [17] Y. Swastika Marcelino dan A. Solichin, "Deteksi Mata Katarak Berdasarkan Tekstur Gray Gray Level Co-Occurrence Matrix Dengan Metode Self Organizing Map."
- [18] E. Hartati, "KLASIFIKASI PENYAKIT MATA MENGGUNAKAN CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK MODEL RESNET-50."
- [19] "208160010 - Fittauli Lumban Gaol Fulltext".
- [20] R. B. Hadiprakoso dan I. K. S. Buana, "Performance Comparison of Feature Extraction and Machine Learning Classification Algorithms for Face Recognition," *The IJICS (International Journal of Informatics and Computer Science)*, vol. 5, no. 3, hlm. 250, 2021, doi: 10.30865/ijics.v5i3.3333.
- [21] M. H. Chandana, G. Dorasanamma, S. Kiran, dan A. A. Kumar, "A Review on Feature Extraction Techniques using Machine Learning," *Macaw International Journal of Advanced Research in Computer Science and Engineering (MIJARCSE)*, vol. 10, no. 1, hlm. 2455–4545, 2024, [Daring]. Tersedia pada: <https://doi.org/10.70162/mijarcse//2024/v10/i1/v10i106>
- [22] I. H. Sarker, A. S. M. Kayes, dan P. Watters, "Effectiveness analysis of machine learning classification models for predicting personalized context-aware smartphone usage," *J Big Data*, vol. 6, no. 1, 2019, doi: 10.1186/s40537-019-0219-y.

- [23] M. Rifqi, "KLASIFIKASI PENYAKIT PADA DAUN KOPI MENGGUNAKAN METODE VISION TRANSFORMER (ViT) SKRIPSI OLEH : PROGRAM STUDI INFORMATIKA FAKULTAS TEKNIK KLASIFIKASI PENYAKIT PADA DAUN KOPI MENGGUNAKAN METODE VISION TRANSFORMER (ViT) Gelar Sarjana di Fakultas Teknik U," 2024.
- [24] H. M. Harun, Z. Abdullah, dan U. Salmah, "Pengaruh Diabetes, Hipertensi, Merokok dengan Kejadian Katarak di Balai Kesehatan Mata Makassar," *Jurnal Kesehatan Vokasional*, vol. 5, no. 1, hlm. 45, 2020, doi: 10.22146/jkesvo.52528.
- [25] R. A. Aprianda dan M. Rasyid, "Glaukoma Pada Pasien Yang Memiliki Hipertensi Dan Diabetes Melitus Di Kota Sungai Penuh," *Jurnal Kesehatan Tambusai*, vol. 4, no. 3, hlm. 2215–2222, 2023.
- [26] Siregar, "No ש מה ש קשה לראות את מה ש", *הארץ*, vol. 7, no. 8.5.2017, hlm. 2003–2005, 2022.
- [27] J. D. Halim, "Klasifikasi Sel Darah Putih Menggunakan Vision Transformer (ViT)," vol. 6, no. November, hlm. 291–307, 2024.
- [28] A. Dosovitskiy *dkk.*, "an Image Is Worth 16X16 Words: Transformers for Image Recognition At Scale," *ICLR 2021 - 9th International Conference on Learning Representations*, 2021.
- [29] S. Sacadibrata, T. Rahman, dan S. Anggai, "Perbandingan Convolutional Neural Network dan Vision Transformer Untuk Klasifikasi Penyakit Daun Pada Tomat," *Prosiding Seminar Kecerdasan Artifisial, Sains Data, dan Pendidikan Masa Depan*, vol. 3, no. 1, hlm. 27–40, 2025, [Daring]. Tersedia pada: <https://openjournal.unpam.ac.id/index.php/PROKASDADIK/article/view/47669>
- [30] S. Pokhrel, *No Title* *ELNH*, vol. 15, no. 1. 2024.
- [31] F. D. Heraldi, "Segmentasi Semantik Optic Disk dan Optic Cup pada Citra Fotografi Fundus Retina dengan Transformer," no. 13520139, 2024.
- [32] M. Nur *dkk.*, "KLASIFIKASI PENYAKIT MATA BERDASARKAN CITRA FUNDUS MENGGUNAKAN YOLO V8," 2023.
- [33] T. Pricillia dan Zulfachmi, "Perbandingan Metode Pengembangan Perangkat Lunak (Waterfall, Prototype, RAD)," *Jurnal Bangkit Indonesia*, vol. 10, no. 1, hlm. 6–12, 2021, doi: 10.52771/bangkitindonesia.v10i1.153.
- [34] Normah, B. Rifai, S. Vambudi, dan R. Maulana, "Analisa Sentimen Perkembangan Vtuber Dengan Metode Support Vector Machine Berbasis SMOTE," *Jurnal Teknik Komputer AMIK BSI*, vol. 8, no. 2, hlm. 174–180, 2022, doi: 10.31294/jtk.v4i2.
- [35] N. Li, T. Li, C. Hu, K. Wang, dan H. Kang, "A Benchmark of Ocular Disease Intelligent Recognition: One Shot for Multi-disease Detection," *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and*

Lecture Notes in Bioinformatics), vol. 12614 LNCS, hlm. 177–193, 2021, doi: 10.1007/978-3-030-71058-3_11.

- [36] S. Pachade *dkk.*, “Retinal fundus multi-disease image dataset (Rfmid): A dataset for multi-disease detection research,” *Data (Basel)*, vol. 6, no. 2, hlm. 1–14, 2021, doi: 10.3390/data6020014.

