

**DETEKSI ANOMALI CITRA APUSAN DARAH TIPIS
MALARIA MENGGUNAKAN *CONVOLUTIONAL*
*AUTOENCODER***

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S. Kom)
Pada Program Studi Teknik Informatika



Oleh:

Danuar Aditya Anardha

NPM : 2113020083

**FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS NUSANTARA PGRI KEDIRI**

2025

Skripsi Oleh:

Danuar Aditya Anardha
NPM: 2113020083

Judul:

**DETEKSI ANOMALI CITRA APUSAN DARAH TIPIS MALARIA
MENGUNAKAN *CONVOLUTIONAL AUTOENCODER***

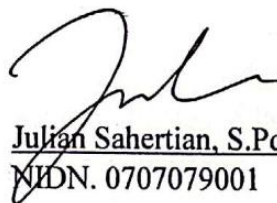
Telah disetujui untuk Diajukan Kepada Panitia Ujian/Sidang Skripsi
Program Studi Teknik Informatika Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer
Universitas Nusantara PGRI Kediri

Tanggal: Kediri, 16 Juni 2025

Pembimbing I


Resty Wulanningrum, M.Kom
NIDN. 0719068702

Pembimbing II


Julian Sahertian, S.Pd., M.T
NIDN. 0707079001

Skripsi Oleh:

Danuar Aditya Anardha

NPM: 2113020083

Judul:

**DETEKSI ANOMALI CITRA APUSAN DARAH MALARIA TIPIS
MENGUNAKAN *CONVOLUTIONAL AUTOENCODER***

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian/Sidang Skripsi
Program Studi Teknik Informatika Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer
Universitas Nusantara PGRI Kediri

Pada tanggal: 10 Juli 2025

Dan Dinyatakan telah Memenuhi Syarat

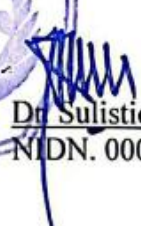
Panitia Penguji :

1. Ketua : Resty Wulanningrum, M.Kom
2. Penguji I : Siti Rochana, M.Pd
3. Penguji II : Julian Sahertian, S.Pd., M.T





Mengetahui,
Dekan FTIK


Dr. Sulistiono, M.Si
NIDN. 0007076801

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini saya,

Nama : Danuar Aditya Anardha
Jenis Kelamin : Pria
Tempat/Tgl Lahir : Kediri, 17 Januari 2003
NPM : 2113020083
Fakultas/Prodi : Teknik dan Ilmu Komputer/ Teknik Informatika

Menyatakan dengan sebenarnya, bahwa dalam Skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya tidak dapat karya tulis atau pendapat yang pernah diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara sengaja dan tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Kediri, 4 Agustus 2025
Yang Menyatakan



Danuar Aditya Anardha
NPM : 2113020083

RINGKASAN

Danuar Aditya Anardha DETEKSI ANOMALI CITRA APUSAN DARAH TIPIS MALARIA MENGGUNAKAN *CONVOLUTIONAL AUTOENCODER*, Skripsi, Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Nusantara PGRI Kediri, 2025

Kata Kunci: *convolutional autoencoder*, deteksi anomali, deteksi malaria, *semi-supervised*, SSIM

Penelitian ini mengeksplorasi penggunaan *convolutional autoencoder* dalam kerangka *semi-supervised* untuk mendeteksi sel darah merah yang terinfeksi malaria, dengan pelatihan terbatas pada citra sel normal guna mempelajari karakteristik struktural alaminya. Deteksi anomali dilakukan berdasarkan selisih rekonstruksi yang dinilai menggunakan *Structural Similarity Index Measure* (SSIM), dengan *threshold* optimal ditentukan melalui analisis ROC dan Youden's J. Empat konfigurasi diuji untuk mengevaluasi pengaruh parameter pelatihan: konfigurasi dasar (100 *epoch*, *batch size* 32, *grayscale*), peningkatan *epoch* menjadi 200, pembesaran *batch size* menjadi 64, dan penggunaan citra RGB alih-alih *grayscale*. Hasil menunjukkan performa terbaik pada skenario dengan *batch size* lebih besar (F1-score 87,91%, recall 90,46%), sementara penggunaan citra RGB justru menurunkan performa (F1-score 87,01%). Secara keseluruhan, akurasi model berkisar antara 86,60% hingga 87,56%, dengan waktu pelatihan antara 5 hingga 15 menit. Temuan ini mengindikasikan potensi pembelajaran representasi tak-terawasi dalam deteksi malaria, sekaligus menyoroti perlunya peningkatan sensitivitas dan *robustnes* melalui teknik ekstraksi fitur yang lebih mendalam serta pendekatan *hybrid supervised-unsupervised*.

PRAKATA

Puji Syukur kami panjatkan kehadiran Allah Tuhan Yang Maha Kuasa, karena hanya atas perkenaan-Nya tugas penyusunan Skripsi ini dapat diselesaikan.

Proposal skripsi dengan judul “*Deteksi Anomali Citra Apusan Darah Tipis Malaria Menggunakan Convolutional Autoencoder*” ini ditulis guna memenuhi sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer, pada Program Studi Teknik Informatika Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Nusantara PGRI Kediri.

Pada kesempatan ini diucapkan terima kasih dan penghargaan yang setulus-tulusnya kepada:

1. Dr. Zainal Afandi, M.Pd. Selaku Rektor Universitas Nusantara PGRI Kediri, yang selalu memberikan dorongan motivasi kepada mahasiswa.
2. Dr. Sulistiono, M.Si. Selaku Dekan Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer yang selalu memberikan dukungan moral kepada mahasiswa.
3. Risa Helilintar, M.Kom. Ketua Program Studi Teknik Informatika yang selalu memberikan arahan kepada mahasiswa.
4. Ibu Resty Wulanningrum, M.Kom. dan Bapak Julian Sahertian, S.Pd., M.T Selaku Dosen Pembimbing yang selalu memberikan bimbingannya.
5. Kedua orang tua saya dan keluarga atas doa dan dukungannya.
6. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pihak-pihak lain yang telah banyak membantu menyelesaikan proposal skripsi ini.

Disadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan, maka diharapkan kritik dan saran dari berbagai pihak sangat diharapkan. Disertai harapan semoga proposal skripsi ini ada manfaat bagi kita semua.

Kediri, 15 Juni 2025



Danuar Aditya Anardha

NPM: 2113020083

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
HALAMAN PENGESAHAN KEASLIAN TULISAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
RINGKASAN	v
PRAKATA.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Identifikasi Masalah.....	3
C. Rumusan Masalah.....	3
D. Batasan Masalah	4
E. Tujuan Penelitian	4
F. Manfaat Penelitian	5
BAB II LANDASAN TEORI	6
A. Teori dan Penelitian Terdahulu	6
1. Landasan Teori.....	6
a) Malaria.....	6
b) Anomali	7
c) Deteksi Anomali	7
d) Jaringan Saraf Tiruan.....	9
e) <i>Autoencoder</i>	12
f) Evaluasi Performa Deteksi Anomali	15
g) Bahasa Pemrograman Python.....	18
2. Kajian Pustaka	18
B. Kerangka Berpikir	22
1. Data <i>Input</i>	23

2. Gambaran Proses	23
3. Data <i>Output</i>	24
BAB III METODE PENELITIAN	25
A. Desain Penelitian	25
1. Jenis Penelitian	25
2. Variabel Penelitian	25
3. Metode Pengumpulan Data	26
B. Instrumen Penelitian	27
1. Perangkat Keras (<i>Hardware</i>)	27
2. Perangkat Lunak (<i>Software</i>)	27
3. Dataset	27
4. Analisis Hasil	28
C. Jadwal Penelitian	28
D. Objek Penelitian	29
E. Prosedur Penelitian	29
F. Teknik Analisis Data	31
1. Desain Sistem	31
a) <i>Use Case Diagram</i>	31
b) <i>Activity Diagram</i>	32
c) <i>Sequence Diagram</i>	36
d) <i>Class Diagram</i>	38
2. Simulasi Proses Penyelesaian Masalah	41
a) Manualisasi <i>Preprocessing</i>	43
b) Manualisasi Pelatihan Autoencoder	47
c) Manualisasi Thresholding Youden J Statistic	63
d) Manualisasi Pengujian Autoencoder	66
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	69
A. Hasil Penelitian	69
1. Implementasi Desain Sistem	69
a) Implementasi Lembar Kerja	69
b) Keterkaitan Antar Lembar Kerja	71

2. Pengujian Fungsional	71
a) Pengujian <i>Whitebox</i>	71
b) Pengujian <i>Blackbox</i>	74
3. Pengujian Non Fungsional	75
4. Pengujian Skenario	76
a) Hasil Skenario 1	77
b) Hasil Skenario 2	77
c) Hasil Skenario 3	78
d) Hasil Skenario 4	79
5. Evaluasi Hasil	80
B. Pembahasan	81
1. Analisis Hasil Pengujian Setiap Skenario	82
a) Skenario 1 (<i>Baseline</i>)	82
b) Skenario 2 (Penambahan <i>Epoch</i>).....	82
c) Skenario 3 (<i>Batch Size</i> Lebih Besar)	82
d) Skenario 4 (Citra RGB)	83
2. Perbandingan Dengan Kajian Pustaka.....	83
BAB V PENUTUP	85
A. Kesimpulan.....	85
B. Saran	86
DAFTAR PUSTAKA.....	87
LAMPIRAN.....	92

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. <i>Confusion matrix</i>	16
Tabel 2.2. Perbandingan penelitian sejenis.	21
Tabel 3.1. Jadwal Penelitian.....	28
Tabel 3.2. Deskripsi <i>Use Case</i>	32
Tabel 3.3. <i>Input</i> citra RGB	42
Tabel 3.4. Indeks warna citra RGB	42
Tabel 3.5. Matriks <i>grayscale</i>	44
Tabel 3.6. Matriks target <i>rescaling</i>	44
Tabel 3.7. Matriks hasil <i>rescaling</i> 3x3	46
Tabel 3.8. Matriks hasil normalisasi	47
Tabel 3.9. Data latih <i>autoencoder</i>	48
Tabel 3.10. Nilai filter <i>encoder</i>	49
Tabel 3.11. Filter <i>output convolutional layer</i> gambar 1	49
Tabel 3.12. <i>Output encoder fully connected layer</i>	52
Tabel 3.13. <i>Output bottleneck layer</i>	53
Tabel 3.14. <i>Output decoder fully connected layer</i>	54
Tabel 3.15. <i>Output decoder deconvolutional layer</i> 1	57
Tabel 3.16. <i>Output decoder deconvolutional layer</i> 2	60
Tabel 3.17. Data asli dan rekonstruksi	61
Tabel 3.18. Sampel error rekonstruksi data normal dan anomali.....	64
Tabel 3.19. Kandidat <i>threshold</i> dengan <i>Youden's J</i>	65
Tabel 3.20. Simulasi data rekonstruksi pengujian.....	66
Tabel 3.21. Simulasi <i>confusion matrix</i>	67
Tabel 4.1. <i>Whitebox</i> Modul Pemuatan Data	72
Tabel 4.2. <i>Whitebox</i> Modul <i>Preprocessing</i>	72
Tabel 4.3. <i>Whitebox</i> Modul Pelatihan Model	72
Tabel 4.4. <i>Whitebox</i> Modul Evaluasi dan Deteksi Anomali.....	73
Tabel 4.5. <i>Whitebox</i> Modul Visualisasi dan Pelaporan	73

Tabel 4.6. Hasil Pengujian <i>Blackbox</i>	74
Tabel 4.7. Hasil Pengujian Non-Fungsional	75
Tabel 4.8. Skenario Uji Coba	76
Tabel 4.9. Hasil Performa Skenario 1	77
Tabel 4.10. <i>Confusion Matrix</i> Skenario 1	77
Tabel 4.11. Hasil Performa Skenario 2	78
Tabel 4.12. <i>Confusion Matrix</i> Skenario 2	78
Tabel 4.13. Hasil Performa Skenario 3	78
Tabel 4.14. <i>Confusion Matrix</i> Skenario 3	79
Tabel 4.15. Hasil Performa Skenario 4	79
Tabel 4.16. <i>Confusion Matrix</i> Skenario 4	79
Tabel 4.17. Hasil Uji Coba Skenario.....	80

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Skema neuron pada otak manusia (Mehlig, 2021).....	9
Gambar 2.2. Cara kerja jaringan saraf tiruan (Singh, 2017).	10
Gambar 2.3. <i>Feed-forward</i> pada arsitektur JST (Singh, 2017)	11
Gambar 2.4. Cara kerja autoencoder. (Bank et al., 2021).	12
Gambar 2.5. Convolutional layer. (O'Shea & Nash, 2015).	13
Gambar 2.6. Kerangka berpikir.....	22
Gambar 2.7. Sampel kelas data (Kassim et al., 2021).	23
Gambar 3.1. Prosedur penelitian.....	29
Gambar 3.2. <i>Use Case Diagram</i>	31
Gambar 3.3. <i>Activity Diagram Training</i>	33
Gambar 3.4. <i>Activity Diagram Testing</i>	35
Gambar 3.5. <i>Training Sequence Diagram</i>	36
Gambar 3.6. <i>Testing Sequence Diagram</i>	37
Gambar 3.7. <i>Training Class Diagram</i>	38
Gambar 3.8. <i>Testing Class Diagram</i>	40
Gambar 3.9. Visualisasi arsitektur simulasi	48
Gambar 4.1. Bagan Hasil Evaluasi Skenario	81

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Malaria adalah penyakit yang disebabkan oleh parasit *Plasmodium*, yang ditularkan melalui gigitan nyamuk *Anopheles* yang terinfeksi. Ada lima spesies *Plasmodium* yang menyebabkan malaria pada manusia, yaitu *Plasmodium falciparum*, *Plasmodium vivax*, *Plasmodium malariae*, *Plasmodium ovale*, dan *Plasmodium knowlesi*. Di antara kelima spesies tersebut, *Plasmodium falciparum* dan *Plasmodium vivax* adalah yang paling umum ditemukan (Poostchi *et al.*, 2018). Penyakit ini dapat menyebabkan gejala serius seperti demam tinggi, menggigil, dan dalam kasus yang parah, dapat berujung pada kematian. Oleh karena itu, deteksi dini sangat penting untuk memastikan perawatan yang tepat untuk mengurangi risiko komplikasi yang lebih serius (Alnussairi & Ibrahim, 2022).

Citra mikroskopis apusan darah tipis digunakan secara luas untuk mendeteksi keberadaan parasit malaria dalam darah. Metode ini memberikan visualisasi rinci dari sel darah merah yang terinfeksi, yang sangat penting untuk diagnosis. Namun, meskipun sangat efektif, identifikasi infeksi melalui citra mikroskopis memerlukan waktu yang lama dan keahlian tinggi dari tenaga medis (Maqsood *et al.*, 2021; Pinto, 2019). Ini menjadi tantangan besar dalam penerapan deteksi anomali menggunakan citra mikroskopis, terutama karena ketergantungan pada ketersediaan tenaga medis yang terlatih (Febriani *et al.*, 2021).

Proses otomatisasi telah dikembangkan untuk analisis citra mikroskopis apusan darah tipis, meskipun sebagian besar penelitian berfokus pada klasifikasi penyakit tertentu dengan metode *supervised* seperti CNN (Muttaqin *et al.*, 2023), SVM (Bashar, 2019), dan YoLOv5 (Krishnadas *et al.*, 2022). Sementara deteksi anomali umum masih terbatas dalam penelitian ini (Wu *et al.*, 2024). Dalam mendeteksi anomali pada citra mikroskopis apusan darah tipis, diperlukan pendekatan yang dapat mengatasi keragaman bentuk

dan struktur sel darah merah serta detail kecil yang menjadi tanda keberadaan parasit malaria. Salah satu pendekatan populer untuk mendeteksi anomali adalah menggunakan *Autoencoder* yang merupakan model *neural network* yang bisa mempelajari representasi terkompres dari data input secara *unsupervised* (Hinton & Salakhutdinov, 2006). *Autoencoder* beroperasi dengan mengurangi dimensi dari *input* data melalui *encoder* dan kemudian merekonstruksi kembali *input* tersebut menggunakan *decoder* (Y. Wang *et al.*, 2016). Pendekatan ini terkenal efisien dalam menemukan ketidaknormalan karena kemampuannya untuk merekonstruksi dengan baik pada data normal, tetapi akan menghasilkan kesalahan yang lebih besar saat merekonstruksi pada jenis data yang sangat berbeda seperti pada kasus anomali (Torabi *et al.*, 2023).

Anomali dalam citra medis, khususnya pada citra mikroskopis apusan darah tipis, menjadi tantangan besar dalam diagnosis otomatis dikarenakan keragaman struktur sel darah dan keberadaan parasit malaria yang sulit dideteksi pada tahap awal infeksi (Salamah, 2018). Metode klasifikasi konvensional sering kali membutuhkan dataset berlabel lengkap, yang sulit diperoleh terutama untuk penyakit langka. Pendekatan berbasis *autoencoder* dalam penelitian ini menggunakan pelatihan *semi-supervised*, dimana model dilatih hanya dengan data citra normal tanpa label anomali. Dengan demikian, model belajar merekonstruksi pola normal secara mendalam. Namun, untuk penentuan *threshold* dan evaluasi performa deteksi anomali, tetap diperlukan data berlabel anomali sebagai acuan, sehingga pengujian bersifat terawasi (*supervised evaluation*). Pendekatan ini memberikan keuntungan dalam kondisi keterbatasan data anomali, sekaligus tetap menjaga objektivitas pengujian berdasarkan metrik validasi yang valid (Iqbal *et al.*, 2023).

Penggunaan *autoencoder* dapat memberikan hasil yang baik dalam mendeteksi anomali pada citra medis, tetapi untuk memastikan sensitivitas yang tinggi pada apusan darah tipis, perlu dipertimbangkan kombinasi dengan fungsi kerugian spesifik seperti *Structural Similarity Index Measure* (SSIM). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa SSIM memiliki potensi

mendeteksi anomali citra medis secara lebih sensitif terhadap detail struktural dibandingkan fungsi loss lainnya, seperti pada MRA (Timmins *et al.*, 2021), X-ray dada (Maruyama, 2023; Mudeng *et al.*, 2022), dan citra medis secara umum (Z. Wang *et al.*, 2004). SSIM dirancang untuk mengukur kesamaan struktural antara dua gambar (Maruyama, 2023), sehingga relevan untuk mendeteksi perbedaan morfologi sel darah merah yang dapat mengindikasikan adanya parasit malaria. Dengan sensitivitasnya terhadap perubahan visual kecil, SSIM memberikan potensi besar untuk mendukung pendekatan autoencoder dalam mendeteksi anomali pada apusan darah tipis.

Dari uraian latar belakang, penulis penelitian ini berupaya mengatasi keterbatasan dalam deteksi anomali pada apusan darah tipis dengan mengembangkan sistem berbasis *convolutional autoencoder* yang dilengkapi dengan SSIM sebagai fungsi kerugian khusus. Pendekatan ini bertujuan untuk meningkatkan sensitivitas dalam mendeteksi perubahan struktural halus pada sel darah merah, yang dapat mengindikasikan adanya parasit malaria. Dengan metode ini, penelitian ini berusaha berkontribusi pada deteksi dini infeksi malaria melalui apusan darah tipis, sehingga mendukung diagnosis yang lebih cepat dan akurat dalam konteks klinis.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, terdapat beberapa masalah sebagai berikut:

1. Metode klasifikasi konvensional bergantung pada dataset berlabel yang sulit didapatkan.
2. Keragaman individu dalam struktur sel darah dan keberadaan parasit malaria yang sulit dideteksi pada tahap awal infeksi.

C. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian identifikasi masalah yang diuraikan sebelumnya, perumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana mengimplementasikan *Convolutional Autoencoder* untuk mendeteksi anomali pada citra mikroskopis apusan darah tipis?

2. Bagaimana kinerja *Convolutional Autoencoder* (CAE) untuk mendeteksi anomali pada citra mikroskopis apusan darah tipis berdasarkan fungsi kerugian SSIM?

D. Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah di atas, hal-hal yang menjadi batas penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dataset yang digunakan pada penelitian ini adalah dataset citra mikroskopis apusan darah tipis malaria yang didapatkan dari *National Library of Medicine* (Kassim *et al.*, 2021; Rajaraman, Antani, *et al.*, 2018; Rajaraman *et al.*, 2019; Rajaraman, Silamut, *et al.*, 2018). Tidak akan menggunakan dataset citra lain selain citra apusan darah tipis.
2. Metode yang digunakan adalah *semi-unsupervised learning*, dan metode lain tidak akan dibahas dalam penelitian ini.
3. Algoritma yang digunakan untuk deteksi anomali adalah *convolutional autoencoder* dengan *structural similarity index measure* sebagai fungsi kerugian.
4. Pelatihan model hanya akan menggunakan data normal, tidak dilatih menggunakan data anomali.
5. Data anomali hanya akan digunakan untuk evaluasi dan pengujian.
6. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah Python versi 3.10.
7. *Library* yang digunakan adalah NumPy, Pandas, TensorFlow, Matplotlib, Seaborn, dan CV2.

E. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Mengimplementasikan model *convolutional autoencoder* untuk melakukan deteksi anomali citra mikroskopis apusan darah tipis.
2. Menguji dan analisis kinerja model CAE untuk mendeteksi anomali citra mikroskopis apusan darah tipis berdasarkan fungsi kerugian SSIM.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat Teoretis dan Praktis dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Teoritis

Mengimplementasikan model *Convolutional Autoencoder* (CAE) untuk deteksi anomali pada citra mikroskopis apusan darah tipis, yang dapat memperkaya literatur tentang penggunaan CAE dalam analisis citra medis.

2. Praktis

Penelitian ini memberikan solusi praktis bagi tenaga medis atau laboratorium untuk mendeteksi kelainan pada sampel darah secara otomatis. Hal ini dapat meningkatkan efisiensi proses analisis citra mikroskopis dan memberikan hasil yang lebih cepat dan lebih akurat dalam diagnosis medis.

DAFTAR PUSTAKA

- Alnussairi, M. H. D., & Ibrahim, A. A. (2022). Malaria parasite detection using deep learning algorithms based on (CNNs) technique. *Computers and Electrical Engineering*, 103, 108316. <https://doi.org/10.1016/J.COMPELECENG.2022.108316>
- Bank, D., Koenigstein, N., & Giryas, R. (2021). *Autoencoders*. <https://arxiv.org/abs/2003.05991>
- Bashar, M. K. (2019). Improved Classification of Malaria Parasite Stages with Support Vector Machine Using Combined Color and Texture Features. *2019 IEEE Healthcare Innovations and Point of Care Technologies, (HI-POCT)*, 135–138. <https://doi.org/10.1109/HI-POCT45284.2019.8962686>
- Bergmann, P., Löwe, S., Fauser, M., Sattlegger, D., & Steger, C. (2019). *Improving Unsupervised Defect Segmentation by Applying Structural Similarity to Autoencoders*. 372–380. <https://doi.org/10.5220/0007364503720380>
- Bhuiyan, M., & Islam, M. S. (2023). A new ensemble learning approach to detect malaria from microscopic red blood cell images. *Sensors International*, 4, 100209. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sintl.2022.100209>
- Braei, M., & Wagner, S. (2020). *Anomaly Detection in Univariate Time-series: A Survey on the State-of-the-Art*. <https://arxiv.org/abs/2004.00433>
- Chandola, V., Banerjee, A., & Kumar, V. (2009). Anomaly detection: A survey. *ACM Comput. Surv.*, 41(3). <https://doi.org/10.1145/1541880.1541882>
- Febriani, I. D., Muhimmah, I., & Lusiyan, N. (2021). Identifikasi Stadium Plasmodium Vivax untuk Penegakan Diagnosis Penyakit Malaria dengan Sistem Berbantuan Komputer. *AUTOMATA*, 2(1). <https://journal.uui.ac.id/AUTOMATA/article/view/17362>
- Fischer, W. (2004). Digital Video Signal According to ITU-BT.R.601 (CCIR 601). In W. Fischer (Ed.), *Digital Television: A Practical Guide for Engineers* (pp. 43–46). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-05429-1_4
- Fuhad, K. M. F., Tuba, J. F., Sarker, M. R. A., Momen, S., Mohammed, N., & Rahman, T. (2020). Deep Learning Based Automatic Malaria Parasite Detection from Blood Smear and its Smartphone Based Application. *Diagnostics (Basel, Switzerland)*, 10(5), 329. <https://doi.org/10.3390/diagnostics10050329>

- Gupta, M., Gao, J., Aggarwal, C., & Han, J. (2014). *Outlier Detection for Temporal Data*. Morgan and Claypool Publishers. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-01905-0>
- Han, J., Kamber, M., & Pei, J. (2012). 8 - Classification: Basic Concepts. In J. Han, M. Kamber, & J. Pei (Eds.), *Data Mining (Third Edition)* (Third Edition, pp. 327–391). Morgan Kaufmann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381479-1.00008-3>
- Hinton, G. E., & Salakhutdinov, R. R. (2006). Reducing the Dimensionality of Data with Neural Networks. *Science*, 313(5786), 504–507. <https://doi.org/10.1126/science.1127647>
- Huq, A., Reza, M. T., Hossain, S., & Dipto, S. M. (2024). *AnoMalNet: Outlier Detection based Malaria Cell Image Classification Method Leveraging Deep Autoencoder*. <https://arxiv.org/abs/2303.05789>
- Iqbal, H., Khalid, U., Hua, J., & Chen, C. (2023). *Unsupervised Anomaly Detection in Medical Images Using Masked Diffusion Model*. <https://arxiv.org/abs/2305.19867>
- Kassim, Y. M., Palaniappan, K., Yang, F., Poostchi, M., Palaniappan, N., Maude, R. J., Antani, S., & Jaeger, S. (2021). Clustering-Based Dual Deep Learning Architecture for Detecting Red Blood Cells in Malaria Diagnostic Smears. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 25(5), 1735–1746. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9244549>
- Krishnadas, P., Chadaga, K., Sampathila, N., Rao, S., S., S. K., & Prabhu, S. (2022). Classification of Malaria Using Object Detection Models. *Informatics*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/informatics9040076>
- Li, Z., Zhu, Y., & van Leeuwen, M. (2023). *A Survey on Explainable Anomaly Detection*. <https://arxiv.org/abs/2210.06959>
- Maqsood, A., Farid, M. S., Khan, M. H., & Grzegorzec, M. (2021). Deep Malaria Parasite Detection in Thin Blood Smear Microscopic Images. *Applied Sciences*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/app11052284>
- Maruyama, S. (2023). Properties of the SSIM metric in medical image assessment: correspondence between measurements and the spatial frequency spectrum. *Physical and Engineering Sciences in Medicine*, 46(3), 1131–1141. <https://doi.org/10.1007/s13246-023-01280-1>
- Mehlig, B. (2021). *Machine Learning with Neural Networks: An Introduction for Scientists and Engineers*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108860604>

- Mudeng, V., Kim, M., & Choe, S. (2022). Prospects of Structural Similarity Index for Medical Image Analysis. *Applied Sciences*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/app12083754>
- Muttaqin, M., Untoro, M. C., Febrianto, A., Faisal, A., Setiawan, A. W., Prabowo, B. P., & Rahman, Y. A. (2023). CNN Classification of Malaria Parasites in Digital Microscope Images Using Python on Raspberry Pi. *Buletin Ilmiah Sarjana Teknik Elektro*, 5(1), 108–120. <https://doi.org/10.12928/biste.v5i1.7522>
- Organization, W. H. (2023). *World malaria report 2023*. World Health Organization.
- O'Shea, K., & Nash, R. (2015). *An Introduction to Convolutional Neural Networks*. <https://arxiv.org/abs/1511.08458>
- Pekmezci, M., & Genc, Y. (2024). Evaluation of SSIM loss function in RIR generator GANs. *Digital Signal Processing*, 154, 104685. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dsp.2024.104685>
- Pinto, M. P. B. (2019). Malaria, the role of the blood smear - a case report. *Hematology, Transfusion and Cell Therapy*, 41(2), 185–186. <https://doi.org/10.1016/j.htct.2018.10.007>
- Poostchi, M., Silamut, K., Maude, R. J., Jaeger, S., & Thoma, G. (2018). Image analysis and machine learning for detecting malaria. *Translational Research: The Journal of Laboratory and Clinical Medicine*, 194, 36–55. <https://doi.org/10.1016/j.trsl.2017.12.004>
- Rajaraman, S., Antani, S. K., Poostchi, M. M., Silamut, K., Hossain, M. A., Maude, R. J., Jaeger, S., & Thoma, G. R. (2018). Pre-trained convolutional neural networks as feature extractors toward improved malaria parasite detection in thin blood smear images. *PeerJ*, 6, e4568. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5907772/>
- Rajaraman, S., Jaeger, S., & Antani, S. K. (2019). Performance evaluation of deep neural ensembles toward malaria parasite detection in thin-blood smear images. *PeerJ*, 7, e6977. <https://doi.org/10.7717/peerj.6977>
- Rajaraman, S., Silamut, K., Hossain, M. A., Ersoy, I., Maude, R. J., Jaeger, S., Thoma, G. R., & Antani, S. K. (2018). Understanding the learned behavior of customized convolutional neural networks toward malaria parasite detection in thin blood smear images. *Journal of Medical Imaging (Bellingham)*, 5(3), 34501. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6050500/>

- Rassam, M. A. (2024). Autoencoder-Based Neural Network Model for Anomaly Detection in Wireless Body Area Networks. *IoT*, 5(4), 852–870. <https://doi.org/10.3390/iot5040039>
- Salamah, U. (2018). Deteksi Parasit Malaria dari Citra Mikroskopis Apusan Tebal Darah. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*. <https://repository.its.ac.id/60063/1/5114301005-Disertation.pdf>
- Schisterman, E. F., Faraggi, D., Reiser, B., & Hu, J. (2008). Youden Index and the optimal threshold for markers with mass at zero. *Statistics in Medicine*, 27(2), 297–315. <https://doi.org/10.1002/sim.2993>
- Schneider, P., & Xhafa, F. (2022). Chapter 3 - Anomaly detection: Concepts and methods. In P. Schneider & F. Xhafa (Eds.), *Anomaly Detection and Complex Event Processing over IoT Data Streams* (pp. 49–66). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823818-9.00013-4>
- Siddalingappa, R., & Kanagaraj, S. (2021). Anomaly Detection on Medical Images using Autoencoder and Convolutional Neural Network. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 12(7). <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2021.0120717>
- Singh, A. (2017). *Anomaly Detection for Temporal Data using Long Short-Term Memory (LSTM)*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:19437697>
- Timmins, K., van der Schaaf, I., Ruigrok, Y., Velthuis, B., & Kuijf, H. J. (2021). Variational autoencoders with a structural similarity loss in time of flight MRAs. In B. A. Landman & I. Išgum (Eds.), *Medical Imaging 2021: Image Processing* (p. 115). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.2580705>
- Torabi, H., Mirtaheri, S. L., & Greco, S. (2023). Practical autoencoder based anomaly detection by using vector reconstruction error. *Cybersecurity*, 6(1), 1. <https://doi.org/10.1186/s42400-022-00134-9>
- Tuteja, R. (2007). Malaria - an overview. *The FEBS Journal*, 274(18), 4670–4679. <https://doi.org/10.1111/j.1742-4658.2007.05997.x>
- Van Rossum, G., & Drake, F. L. (2009). *Python 3 Reference Manual*. CreateSpace.
- Wang, Y., Yao, H., & Zhao, S. (2016). Auto-encoder based dimensionality reduction. *Neurocomputing*, 184, 232–242. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neucom.2015.08.104>
- Wang, Z., Bovik, A. C., Sheikh, H. R., & Simoncelli, E. P. (2004). Image quality assessment: from error visibility to structural similarity. *IEEE Transactions on Image Processing*, 13(4), 600–612. <https://doi.org/10.1109/TIP.2003.819861>

- Wu, D., Fan, S., Zhou, X., Yu, L., Deng, Y., Zou, J., & Lin, B. (2024). Unsupervised Anomaly Detection via Masked Diffusion Posterior Sampling. *International Joint Conference on Artificial Intelligence*.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2404.17900>
- Zakiya, P. N. (2021). *KLASIFIKASI PATOLOGI MAKULA RETINA MELALUI CITRA OCT MENGGUNAKAN CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK DENGAN ARSITEKTUR MOBILENET*. Universitas Telkom.