

**PENINGKATAN KINERJA KLASIFIKASI MULTI
KELAS INFARK MIOKARD BERBASIS *DEEP*
*LEARNING***

SKRIPSI

**Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer**



OLEH:

FAKHRUL NURMULYANA

09011282126076

**JURUSAN SISTEM KOMPUTER
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025**

HALAMAN PENGESAHAN

SKRIPSI

**PENINGKATAN KINERJA KLASIFIKASI MULTI KELAS
INFARK MIOKARD BERBASIS *DEEP LEARNING***

Sebagai salah satu syarat untuk penyelesaian studi di
Program Studi S1 Sistem Komputer

Oleh:
FAKHRUL NURMULYANA
09011282126076

Pembimbing 1 : Prof. Ir. Siti Nurmaini, M.T., Ph.D
NIP. 196908021994012001

Mengetahui
Ketua Jurusan Sistem Komputer



Dr. Ir. Sukemi, M.T
196612032006041001

AUTHENTICATION PAGE

SKRIPSI

IMPROVING THE PERFORMANCE OF MULTI-CLASS CLASSIFICATION OF MYOCARDIAL INFARCTION BASED ON DEEP LEARNING

As one of the requirements for completing the
Bachelor's Degree Program in Computer Systems

By:

FAKHRUL NURMULYANA

09011282126076

Advisor 1 : Prof. Ir. Siti Nurmaini, M.T., Ph.D
NIP. 196908021994012001

**Approved by,
Head of Computer System Department**



Dr. Ir. Sukemi, M.T
196612032006041001

HALAMAN PERSETUJUAN

Telah diuji dan lulus pada :

Hari : Kamis

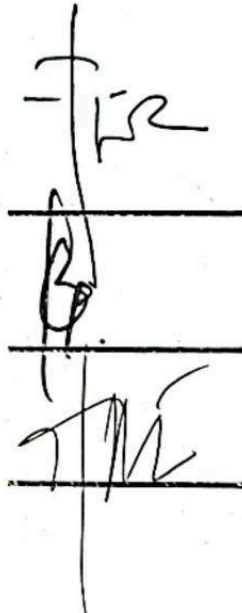
Tanggal : 26 Juni 2025

Tim Penguji :

1. Ketua : Dr. Firdaus, S.T., M.Kom.

2. Penguji : Sutarno, M.T.

3. Pembimbing : Prof. Ir. Siti Nurmaini, M.T., Ph.D.





Mengetahui, 12/7/25

Ketua Jurusan Sistem Komputer


Dr. Ir. Sukemi, M.T.
NIP. 196612032006041001

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Fakhrol Nurmulyana

NIM : 09011282126076

Judul : Peningkatan Kinerja Klasifikasi Multi Kelas Infark Miokard Berbasis
Deep Learning

Hasil Pengecekan Software Turnitin: 2%

Menyatakan bahwa laporan skripsi saya merupakan hasil karya sendiri dan bukan hasil penjiplakan atau plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan atau plagiat dalam laporan tugas akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan dari siapapun.



Indralaya, Juli 2025



Fakhrol Nurmulyana
NIM. 09011282126076

HALAMAN PERSEMBAHAN

1. Untuk bapak Mursyid B. dan ibu Erfida, S.Pd. Dengan rasa hormat dan kasih sayang, saya ucapkan terima kasih telah menjadi orang tua dan terus menjadi orang tua saya. Terima kasih atas setiap kabar yang selalu menguatkan dan doa-doa sebagai pembuka jalan, dan setiap pengorbanan yang tak tergambarkan. Tanpa kalian, perjalanan ini tak akan pernah dimulai dan mencapai titik ini. Semoga pencapaian ini menjadi sebuah berita suka bagi kalian dari beberapa kekecewaan yang mungkin kalian rasakan di sela-sela pujian membanggakan yang selalu kalian berikan.
2. Untuk Kakak dan kedua Adikku, terima kasih atas kebersamaan, dukungan, motivasi, dan semangat yang selalu kalian berikan. Terimakasih atas kabar, cerita, dan keluh kesah yang tanpa sadar meringankan beban. Kehadiran kalian dengan kelebihan dan kekurangannya menjadi salah satu penguat di setiap langkah, dan sumber keceriaan di tengah lelah. Kebahagiaan dalam pencapaian ini juga saya persembahkan untuk kalian, bagian penting dari perjalanan ini.

MOTTO

“Memento mori”

(Frasa latin)

”kupunya doa Ibu”

(perunggu - tapi)

“ Tiap-tiap yang bernyawa akan merasakan mati. Kemudian, hanya pada hari kiamat sajalah disempurnakan pahalamu”

(3 : 85)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur kepada Allah SWT. karena atas rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Proposal Tugas Akhir dengan judul “Peningkatan Kinerja Klasifikasi Multi-Kelas Infark Miokard Berbasis *Deep Learning*”.

Dalam laporan ini, penulis menjelaskan mengenai pemodelan yang digunakan untuk meningkatkan kinerja klasifikasi infark miokard multi-kelas dengan menggunakan data sinyal *Electrocardiography* (ECG) *open access* yang tersedia di internet. Penulis berharap agar tulisan ini dapat bermanfaat bagi orang banyak, terutama penulis sendiri.

penulis juga mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang sudah membantu sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik, yaitu:

1. Bapak Mursyid B. dan ibu Erfida, S.Pd. selaku orang tua penulis beserta saudara, dan keluarga besar yang selalu mendoakan serta memberikan motivasi dan semangat.
2. Bapak Prof. Dr. Erwin, S.Si, M.Si. Selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Dr. Ir. Sukemi, M.T. selaku Ketua Jurusan Sistem Komputer .
4. Ibu Prof. Ir. Siti Nurmaini, M.T., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Dr. Rossi Passarella, M.Eng. selaku Pembimbing Akademik penulis di jurusan Sistem Komputer.
6. Ibu Dr. Annisa Darmawahyuni, M.Kom., Ibu Dr. Ade Iriani Sapitri, M.Kom., Ibu Anggun Islami, M.Kom, Ibu Akhiar Wista Arum, S.T., M.Kom., dan Bapak Naufal Rachmatullah, M.T., sebagai mentor di ISysRG.
7. Kak Angga selaku Admin Jurusan Sistem Komputer yang telah membantu penulis dalam hal-hal administrasi.

8. Seluruh anggota di ISysRG, yang membantu penulis dalam bertukar pikiran dan berbagai hal lainnya.
9. Grup “Botanisme” Ade, Adam, Arif, Azriel, Farhan, Quddus, dan Reihan, terima kasih sudah menjadi tempat bercerita, bertukar informasi, dan saling mendukung sepanjang perjalanan ini
10. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah memberikan semangat serta do’a.
11. Almamater.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dan kelemahan dalam penyusunan proposal ini. Tidak lupa penulis menunggu kritik dan saran yang dapat menyempurnakan proposal ini.

Wassalamu’alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Indralaya, Juli 2025
Penulis,

Fakhrul Nurmulyana
NIM. 09011282126076

PENINGKATAN KINERJA KLASIFIKASI MULTI KELAS INFARK MIOKARD BERBASIS *DEEP* *LEARNING*

FAKHRUL NURMULYANA (09011282126078)

Jurusan Sistem Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Sriwijaya

Email: fakhrulnurmulyana@gmail.com

ABSTRAK

Penyakit jantung, khususnya infark miokard (IM), merupakan penyebab utama kematian global yang membutuhkan deteksi dini dan akurat untuk mencegah dampak fatal. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem klasifikasi multi-kelas IM berbasis *deep learning* menggunakan sinyal ECG dari *dataset* PTB-XL. Model dibangun dengan arsitektur kombinasi *Convolutional Neural Network* (CNN) dan *Long Short-Term Memory* (LSTM), serta dibandingkan dengan arsitektur CNN-BiLSTM. Penelitian mencakup 15 kelas klasifikasi berdasarkan lokasi terjadinya IM. Tahapan penelitian meliputi *preprocessing* (*denoising*, normalisasi, segmentasi), pelatihan model dengan berbagai kombinasi *layer*, dan evaluasi menggunakan metrik *accuracy*, *precision*, *recall*, dan *f1-score*. Proses segmentasi dengan *sliding window* dan teknik *denoising* menggunakan *wavelet* db4, level 8, dan *threshold hard* terbukti meningkatkan kualitas sinyal. Untuk model terbaik didapatkan dari kombinasi arsitektur 25 *layer* CNN dan 1 *layer* LSTM. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa kombinasi arsitektur dan *preprocessing* yang optimal mampu meningkatkan performa klasifikasi. Temuan ini diharapkan dapat menjadi solusi dalam membantu diagnosis IM secara otomatis dan efisien dalam praktik klinis.

Kata Kunci : Klasifikasi, Infark Miokard, *Deep Learning*, CNN, LSTM, BiLSTM

IMPROVING THE PERFORMANCE OF MULTI-CLASS CLASSIFICATION OF MYOCARDIAL INFARCTION BASED ON DEEP LEARNING

FAKHRUL NURMULYANA (09011282126078)

Department of Computer Systems, Faculty of Computer Science, Sriwijaya University

Email: fakhrulnurmulyana@gmail.com

ABSTRACT

Heart disease, particularly myocardial infarction (IM), is a leading cause of global death that requires early and accurate detection to prevent fatal outcomes. This study aims to develop a deep learning-based IM multi-class classification system using ECG signals from the PTB-XL dataset. The model was built with a combination architecture of Convolutional Neural Network (CNN) and Long Short-Term Memory (LSTM), and compared with CNN-BiLSTM architecture. The study included 15 classification classes based on the location of IM. The research stages include preprocessing (denoising, normalization, segmentation), model training with various layer combinations, and evaluation using accuracy, precision, recall, and f1-score metrics. The segmentation process with sliding window and denoising technique using db4 wavelet, level 8, and hard threshold proved to improve the signal quality. The best model is obtained from the combination of 25 layer CNN architecture and 1 layer LSTM. Experimental results show that the optimal combination of architecture and preprocessing can improve classification performance. The findings are expected to be a solution in assisting the automatic and efficient diagnosis of IM in clinical practice.

Keywords : *Classification, Myocardial Infarction, Deep Learning, CNN, LSTM, BiLSTM*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
<i>AUTHENTICATION PAGE</i>	iii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iv
LEMBAR PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK.....	ix
<i>ABSTRACT</i>	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan.....	3
1.5. Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Penelitian Terdahulu.....	5
2.2. <i>Electrocardiogram</i>	6
2.3. <i>Myocardial Infarction</i>	7
2.4. Klasifikasi.....	8
2.5. <i>One Hot Encoding</i>	9
2.6. <i>Denoising</i>	10

2.7. Normalisasi.....	10
2.8. Segmentasi.....	11
2.9. <i>Deep Learning</i>	12
2.10. CNN.....	12
2.11. LSTM.....	14
2.12. BiLSTM.....	15
2.13. Pengukuran Kinerja.....	16
2.11.1. <i>Accuracy</i>	16
2.11.2. <i>Precision</i>	16
2.11.3. <i>Recall</i>	16
2.11.4. <i>F1 Score</i>	17
2.14. PTB-XL.....	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	20
3.1. Kerangka Kerja.....	20
3.2. Akuisisi Data.....	22
3.3. Ekstraksi Data.....	23
3.4. <i>Preprocessing</i>	25
3.4.1. <i>Preprocessing 1</i>	25
3.4.2. <i>Preprocessing 2</i>	26
3.5. Pelatihan.....	27
3.5.1. Pelatihan 1.....	28
3.5.2. Pelatihan 2.....	30
3.6. Evaluasi Model.....	31
BAB IV HASIL DAN ANALISIS.....	32
4.1. <i>Preprocessing</i>	32
4.1.1. Label.....	32
4.1.2. Sinyal.....	35
4.1.2.1. <i>Denoising</i>	35

4.1.3. Gabungan (label dan sinyal).....	37
4.1.3.1. Segmentasi.....	37
4.1.3.2. <i>Splitting</i>	39
4.1.3.2.1. Tanpa Segmentasi.....	40
4.1.3.2.2. Menggunakan Segmentasi.....	41
4.2. <i>Training</i>	43
4.2.1. Data Tanpa <i>Preprocessing</i>	43
4.2.1.1. Arsitektur CNN-LSTM.....	43
4.2.1.2. Arsitektur CNN-BiLSTM.....	56
4.2.2. Data Menggunakan <i>Preprocessing</i>	56
4.2.3. Data pada Keseluruhan Lead.....	59
4.3. Grafik Performa Pelatihan dan <i>Confusion Matrix</i> pada Model Terbaik...	60
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	64
5.1. Kesimpulan.....	64
5.2. Saran.....	64
DAFTAR PUSTAKA.....	66
LAMPIRAN.....	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. <i>ECG Signal</i>	6
Gambar 2.2. Proses <i>Training</i> Data Klasifikasi.....	8
Gambar 2.3. Penggambaran <i>One-Hot-Encoding</i>	9
Gambar 2.4. <i>Segmentation</i> Menggunakan <i>Sliding Window</i>	11
Gambar 2.5. Arsitektur CNN.....	13
Gambar 2.6. Arsitektur LSTM.....	14
Gambar 3.1. Rancangan Alur Kerja.....	21
Gambar 3.2. Sampel Sinyal Normal dan MI.....	23
Gambar 3.3. Sampel Data MI Berdasarkan Lokasinya.....	24
Gambar 3.4. <i>Flowchart Preprocessing</i> 1.....	26
Gambar 3.5. <i>Flowchart</i> Pembuatan Model.....	28
Gambar 3.6. <i>Flowchart</i> Penerapan Model.....	29
Gambar 4.1 Sampel Label PTB-XL (Dalam Format Kode SCP).....	33
Gambar 4.2 Persebaran Label NORM dan MI.....	33
Gambar 4.3 Perbandingan Persebaran Label MI pada Data Multi Kelas dan Multilabel.....	34
Gambar 4.4 Persebaran Data Setelah Segmentasi.....	38
Gambar 4.5 Persebaran Data Tanpa <i>Preprocessing</i> Setelah <i>Splitting</i>	40
Gambar 4.6 Grafik <i>F1-Score</i> Keseluruhan Model.....	55
Gambar 4.7 Grafik Performa Pelatihan Model Terbaik.....	61
Gambar 4.8 <i>Confusion Matrix</i> Model Terbaik.....	63

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Label Superkelas.....	17
Tabel 2.2 Persebaran 4 dari 24 Label Subkelas.....	18
Tabel 2.3 Pernyataan Diagnostik yang Berbeda.....	19
Tabel 3.1 Persebaran Label Superkelas.....	22
Tabel 3.2 Persebaran Label MI Berdasarkan Lokasi.....	23
Tabel 4.1 Sepuluh <i>Wavelet</i> Terbaik.....	35
Tabel 4.2 Snr Dari Level dengan <i>Wavelet Db4</i>	36
Tabel 4.3 Snr Dari <i>Threshold</i> dengan <i>Wavelet Db4</i> Dan Level 8.....	37
Tabel 4.4 Persebaran Perkelas Setelah Segmentasi	38
Tabel 4.5 Persebaran Data <i>Train</i> Setelah Segmentasi dan <i>Splitting</i>	41
Tabel 4.6 Persebaran Data Train Setelah Segmentasi dan <i>Splitting</i> pada Masing-Masing Kelas.....	42
Tabel 4.7 Model CNN-1 LSTM	43
Tabel 4.8 Model CNN-2 LSTM	46
Tabel 4.9 Model CNN-3 LSTM	49
Tabel 4.10 Model CNN-4 LSTM	51
Tabel 4.11 Model 16 CNN-1 LSTM /BILSTM.....	56
Tabel 4.12 Model 16 CNN-1 BILSTM pada Data <i>Preprocessing</i>	57
Tabel 4.13 Arsitektur Terbaik pada Data Kombinasi <i>Preprocessing</i>	58
Tabel 4.14 Arsitektur Terbaik pada Keseluruhan <i>Lead</i>	59

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Cardiovascular Disease (CVD) atau penyakit pada jantung dan pembuluh darah, merupakan sumber utama kematian global [1]. Menurut *World Health Organization* (WHO), setiap tahun antara tahun 2018 dan 2020, rata-rata sekitar 17,9 juta orang meninggal akibat CVD, yang mewakili 32% dari seluruh kematian di dunia. Di antara kematian tersebut, 85% disebabkan oleh serangan jantung dan stroke [2], [3]. *Myocardial infarction* (MI) atau infark miokard (IM) atau biasa disebut serangan jantung adalah salah satu CVD paling berbahaya dengan tingkat kematian tertinggi yang menyebabkan lebih dari 15,2 juta kematian di seluruh dunia setiap tahunnya, terutama di kalangan paruh baya dan lanjut usia. Sebagian besar diakibatkan oleh keterlambatan deteksi dan pengobatan IM [4], [5]. Oleh karena itu, deteksi IM yang tepat waktu merupakan hal yang sangat penting untuk membantu melakukan tindakan pencegahan [5], [6].

Electrocardiogram (ECG) adalah alat yang paling dapat diandalkan untuk menginterpretasikan IM, terlepas dari munculnya alternatif yang mahal dan canggih [4], [7]. Bahkan beberapa penyakit jantung dapat dikenali hanya melalui sinyal ECG [4]. Analisis ECG secara manual merupakan tugas yang melelahkan dan menantang, bahkan bagi dokter ahli sekalipun. Metode otomatis untuk analisis ECG merupakan bantuan langsung untuk pengambilan keputusan klinis dan secara signifikan dapat meringankan beban kerja dokter [7]. Seiring dengan perkembangan teknologi dalam dunia kedokteran, penggunaan *Artificial Intelligence* (AI) atau kecerdasan buatan dalam *electrocardiogram* (ECG) semakin meningkat [8]. Beberapa algoritme *Machine Learning* (ML) telah dipelajari untuk menginterpretasikan IM. Namun, kelemahan dari Pendekatan menggunakan ML klasik untuk klasifikasi ECG otomatis adalah masih bergantungnya proses klasifikasi pada fitur buatan tangan yang harus ditentukan terlebih dahulu. Proses ini memakan waktu dan berpotensi membatasi performa klasifikasi. Pada penelitian beberapa tahun terakhir, *Deep Learning* (DL) telah

menunjukkan peningkatan kinerja dalam banyak tugas di bidang kesehatan. *Deep Learning* mampu mempelajari fitur secara otomatis dari data mentah, termasuk sinyal ECG. Hal ini memungkinkan *deep learning* untuk mengidentifikasi pola kompleks dan *non-linear* dalam data yang mungkin terlewatkan oleh metode ML klasik [4], [7], [9].

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model klasifikasi multi-kelas IM berbasis *deep learning* yang dapat meningkatkan akurasi dan efisiensi diagnosis. Model ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam meningkatkan kualitas layanan kesehatan. Judul dari tugas akhir ini, yaitu “Peningkatan Kinerja Klasifikasi Multi-Kelas Infark Miokard Berbasis *Deep Learning*”.

1.2. Rumusan Masalah

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan metode yang lebih baik dalam klasifikasi multi-kelas berdasarkan lokasi pada data infark miokard menggunakan *deep learning*. Fokus utama adalah membandingkan akurasi dan efisiensi model klasifikasi IM dengan pendekatan *deep learning*. Selain itu, penelitian ini juga mengeksplorasi pengaruh beberapa metode *preprocessing* yang umum digunakan pada pengolahan sinyal ECG.

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah diharapkan dapat berjalan lebih teratur dan sesuai dengan tujuan yang telah ditentukan. Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan mencakup klasifikasi multi-kelas untuk data infark miokard.
2. *Dataset* yang digunakan pada penelitian ini adalah data detak jantung berupa rekaman *electrocardiogram* yang bersumber dari *Physikalisch-Technische Bundesanstalt eXtended Length* (PTB-XL) dan tidak menggunakan metadata lainnya yang disediakan *dataset*.
3. Penelitian ini mensimulasi program dengan bahasa pemrograman *Python*.

4. Terdapat 15 kelas pada *dataset* yang akan diklasifikasikan, masing-masing kelas merupakan lokasi penyebab IM.

1.4. Tujuan

Tujuan penelitian ini berfokus pada pencapaian hasil yang diinginkan melalui serangkaian eksperimen dan analisis terhadap model *Deep Learning* pada data sinyal jantung. Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Meningkatkan kinerja klasifikasi multi-kelas pada data infark miokard menggunakan metode *deep learning*.
2. Menemukan metode berbasis *deep learning* terbaik untuk klasifikasi multi-kelas pada data infark miokard dan menguji metode terbaik yang diusulkan.
3. Menemukan metode *preprocessing* terbaik untuk pelatihan menggunakan data IM yang bersumber dari data PTB-XL.

1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah:

BAB I PENDAHULUAN

Bab I memberikan uraian tentang awal dari suatu penulisan, meliputi latar belakang, perumusan dan batasan masalah, tujuan dan manfaat, metodologi penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab II memaparkan mengenai teori – teori dasar yang menjadi landasan dari penelitian yang dilakukan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab III berisi penjelasan detail mengenai teknik, metode, serta alur proses yang digunakan dalam penelitian.

BAB IV HASIL DAN ANALISIS

Bab IV menjelaskan hasil pengujian yang diperoleh dan menjelaskan analisa terhadap hasil penelitian yang telah dilakukan.

BAB V KESIMPULAN

Bab V berisi kesimpulan dari hasil dan analisa dari keseluruhan penelitian yang dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

Daftar pustaka berisi daftar referensi dari sumber – sumber informasi yang digunakan dalam metode literatur.

LAMPIRAN

Lampiran mencakup formulir perbaikan dan juga pemeriksaan tingkat kemiripan karya dengan sumber lain.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] X. Liang, H. Li, A. Vuckovic, J. Mercer, and H. Heidari, "A Neuromorphic Model With Delay-Based Reservoir for Continuous Ventricular Heartbeat Detection," *IEEE Trans Biomed Eng*, vol. 69, no. 6, 2022, doi: 10.1109/TBME.2021.3129306.
- [2] M. R. Kiladze, U. A. Lyakhova, P. A. Lyakhov, N. N. Nagornov, and M. Vahabi, "Multimodal Neural Network for Recognition of Cardiac Arrhythmias Based on 12-Lead Electrocardiogram Signals," *IEEE Access*, vol. 11, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3335176.
- [3] M. Sraitih, Y. Jabrane, and A. Hajjam El Hassani, "A Robustness Evaluation of Machine Learning Algorithms for ECG Myocardial Infarction Detection," *J Clin Med*, vol. 11, no. 17, 2022, doi: 10.3390/jcm11174935.
- [4] A. Darmawahyuni et al., "Deep learning with a recurrent network structure in the sequence modeling of imbalanced data for ECG-rhythm classifier," *Algorithms*, vol. 12, no. 6, 2019, doi: 10.3390/a12060118.
- [5] P. Jain, A. Deshmukh, and H. Padole, "Design of an Integrated Myocardial Infarction Detection Model Using ECG Connectivity Features and Multivariate Time Series Classification," *IEEE Access*, vol. 12, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3354041.
- [6] N. Sinha, M. A. G. Kumar, A. M. Joshi, and L. R. Cenkeramaddi, "DASMCC: Data Augmented SMOTE Multi-Class Classifier for Prediction of Cardiovascular Diseases Using Time Series Features," *IEEE Access*, vol. 11, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3325705.
- [7] H. Narotamo, M. Dias, R. Santos, A. V. Carreiro, H. Gamboa, and M. Silveira, "Deep learning for ECG classification: A comparative study of 1D and 2D representations and multimodal fusion approaches," *Biomed Signal Process Control*, vol. 93, 2024, doi: 10.1016/j.bspc.2024.106141.

- [8] J. Irungu, T. Oladunni, A. C. Grizzle, M. Denis, M. Savadkoohi, and E. Ososanya, "ML-ECG-COVID: A Machine Learning-Electrocardiogram Signal Processing Technique for COVID-19 Predictive Modeling," *IEEE Access*, vol. 11, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3335384.
- [9] S. Seoni et al., "Application of spatial uncertainty predictor in CNN-BiLSTM model using coronary artery disease ECG signals," *Inf Sci (N Y)*, vol. 665, 2024, doi: 10.1016/j.ins.2024.120383.
- [10] P. Wagner et al., "PTB-XL, a large publicly available electrocardiography dataset," *Sci Data*, vol. 7, no. 1, 2020, doi: 10.1038/s41597-020-0495-6.
- [11] C. Z. Khairunnisa, "Klasifikasi penyakit jantung berbasis convolutional neural network menggunakan basis data the Physikalisch-Technische Bundesanstalt-XL (PTB-XL)," dissertation, Univ. Sriwijaya, Palembang, Indonesia, 2023.
- [12] F. S. Butt, M. F. Wagner, J. Schäfer, and D. G. Ullate, "Toward Automated Feature Extraction for Deep Learning Classification of Electrocardiogram Signals," *IEEE Access*, vol. 10, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3220670.
- [13] K. Lai, N. Twine, A. O'Brien, Y. Guo, and D. Bauer, "Artificial intelligence and machine learning in bioinformatics," in *Encyclopedia of Bioinformatics and Computational Biology: ABC of Bioinformatics*, vol. 1–3, 2018. doi: 10.1016/B978-0-12-809633-8.20325-7.
- [14] S. Özkan, N. Padilla, A. Moles-Fernández, O. Diez, S. Gutiérrez-Enríquez, and X. de la Cruz, "The computational approach to variant interpretation," in *Clinical DNA Variant Interpretation*, 2021. doi: 10.1016/b978-0-12-820519-8.00007-7.
- [15] G. Beis, A. P. Serafeim, and I. Papasotiriou, "Data-driven analysis and druggability assessment methods to accelerate the identification of novel cancer targets," 2023. doi: 10.1016/j.csbj.2022.11.042.

- [16] A. Avetisyan et al., “Deep neural networks generalization and fine-tuning for 12-lead ECG classification,” *Biomed Signal Process Control*, vol. 93, 2024, doi: 10.1016/j.bspc.2024.106160.
- [17] J. Li, P. Jiang, Q. An, G. G. Wang, and H. F. Kong, “Medical image identification methods: A review,” 2024. doi: 10.1016/j.compbio.2023.107777.
- [18] A. Shenfield and M. Howarth, “A Novel Deep Learning Model for the Detection and Identification of Rolling Element-Bearing Faults,” *Sensors*, vol. 20, no. 18, p. 5112, Sep. 2020, doi: <https://doi.org/10.3390/s20185112>.
- [19] M. F. Safdar, P. Pałka, R. M. Nowak, and A. Al Faresi, “A novel data augmentation approach for enhancement of ECG signal classification,” *Biomed Signal Process Control*, vol. 86, 2023, doi: 10.1016/j.bspc.2023.105114.
- [20] M. F. Issa, A. Yousry, G. Tuboly, Z. Juhasz, A. H. AbuEl-Atta, and M. M. Selim, “Heartbeat classification based on single lead-II ECG using deep learning,” *Heliyon*, vol. 9, no. 7, 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e17974.
- [21] E. Merdjanovska and A. Rashkovska, “Comprehensive survey of computational ECG analysis: Databases, methods and applications,” 2022. doi: 10.1016/j.eswa.2022.117206.
- [22] A. L. Golande and T. Pavankumar, “Optical electrocardiogram based heart disease prediction using hybrid deep learning,” *J Big Data*, vol. 10, no. 1, 2023, doi: 10.1186/s40537-023-00820-6.
- [23] D. P. Kingma and J. L. Ba, “Adam: A method for stochastic optimization,” in *3rd International Conference on Learning Representations, ICLR 2015 - Conference Track Proceedings*, 2015.
- [24] B. T. Pham, P. T. Le, T. C. Tai, Y. C. Hsu, Y. H. Li, and J. C. Wang, “Electrocardiogram Heartbeat Classification for Arrhythmias and Myocardial Infarction,” *Sensors*, vol. 23, no. 6, 2023, doi:

10.3390/s23062993.

- [25] A. H. Mirza, S. Nurmaini, and R. U. Partan, “Automatic Classification of 15 Leads ECG Signal of Myocardial Infarction Using One Dimension Convolutional Neural Network,” *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 12, no. 11, 2022, doi: 10.3390/app12115603.
- [26] A. Ng, “Machine learning Yearning,” *Studies in Systems, Decision and Control*, vol. 65, 2018.
- [27] C. Che, P. Zhang, M. Zhu, Y. Qu, and B. Jin, “Constrained transformer network for ECG signal processing and arrhythmia classification,” *BMC Medical Informatics and Decision Making*, vol. 21, no. 1, Jun. 2021, doi: <https://doi.org/10.1186/s12911-021-01546-2>.