

**PENINGKATAN KINERJA KLASIFIKASI ARITMIA
BERBASIS *DEEP FEATURES* DAN *TEACHING-
LEARNING BASED OPTIMIZATION***

SKRIPSI

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



OLEH:

RIRIN PURNAMA SARI

09011282126096

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

2025

HALAMAN PENGESAHAN

SKRIPSI

**PENINGKATAN KINERJA KLASIFIKASI ARITMIA BERBASIS
DEEP FEATURES DAN *TEACHING-LEARNING BASED
OPTIMIZATION***

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

Oleh:

RIRIN PURNAMA SARI

09011282126096

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

PERFORMANCE IMPROVEMENT OF ARRHYTHMIA CLASSIFICATION BASED ON DEEP FEATURES AND TEACHING-LEARNING BASED OPTIMIZATION

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

By:

RIRIN PURNAMA SARI

09011282126096

Supervisor 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 Sidang : Dr. Firdaus, S.T., M.Kom.

2. Penguji Sidang : Dr. Annisa Darmawahyuni, M.Kom.

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

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ririn Purnama Sari

NIM : 09011282126096

Judul : Peningkatan Kinerja Klasifikasi Aritmia Berbasis *Deep Features* dan
Teaching-Learning Based Optimization

Hasil Pengecekan Software Turnitin: 14%

Menyatakan bahwa laporan tugas akhir saya merupakan hasil karya sendiri dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam laporan tugas akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

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



Indralaya, Juli 2025



Ririn Purnama Sari
NIM. 09011282126096

HALAMAN PERSEMBAHAN

1. Dengan segala kerendahan hati dan rasa syukur yang tiada terhingga kepada Allah SWT, skripsi ini kupersembahkan secara tulus bagi kedua orang tuaku tercinta, terutama mama tersayang. Terima kasih tak terhingga atas doa, pengorbanan, dan kasih sayang yang tak pernah putus, menjadi sumber kekuatan serta inspirasi bagiku. Ini adalah wujud baktiku, semoga Allah SWT senantiasa membalas segala kebaikan dan pengorbanan kalian dengan sebaik-baik balasan.
2. Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada dosen dan pembimbing di Universitas Sriwijaya atas ilmu dan bimbingan yang tulus. Tak lupa untuk sahabat seperjuangan dan rekan-rekan di Intelligent Systems Research Group (ISySRG), terima kasih atas kebersamaan dan semangat yang telah diberikan. Semoga skripsi ini memberi manfaat dan menjadi kontribusi kecil bagi dunia akademik.

MOTTO

"Barangsiapa yang keluar untuk menuntut ilmu, maka ia berada di jalan Allah hingga ia pulang."

(HR. Tirmidzi)

"It always seems impossible until it's done."

(Nelson Mandela)

“Tetaplah konsisten dan gigih dalam setiap usaha, meski tantangan terus berdatangan. Keberanian untuk terus mencoba dan belajar tanpa kenal lelah adalah fondasi pencapaian besar. Setiap hambatan bukan penghalang, melainkan batu loncatan. Dengan pengetahuan sebagai modal dan semangat yang kuat, kemajuan serta keberhasilan akan senantiasa menjadi wujud nyata bagi mereka yang tak pernah berhenti berjuang.”

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Segala puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan Hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul “Peningkatan Kinerja Klasifikasi Aritmia Berbasis *Deep Features* Dan *Teaching-Learning Based Optimization*”.

Selama penulisan Laporan Tugas Akhir ini, penulis menerima banyak ide, saran, serta bantuan dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Allah Subhanahu Wata'ala yang telah memberikan berkah serta nikmat Kesehatan dan kesempatan kepada penulis dalam melaksanakan Kerja Praktik.
2. Kedua Orang Tua, Keluarga dan Teman-teman yang selalu mendoakan serta memberikan motivasi dan semangat.
3. Bapak Prof. Dr. Erwin, S.Si., M.Si., Selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Dr. Ir. Sukemi., M.T. selaku Ketua Jurusan Sistem Komputer Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya.
5. Bapak Dr. Ahmad Zarkasi, M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik.
6. Ibu Prof. Ir. Siti Nurmaini, M.T., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
7. Ibu Dr. Annisa Darmawahyuni, M.Kom., selaku mentor penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. Bapak Prof. Dr. Ir. Bambang Tutuko, M.T., Bapak Dr. Firdaus, M.Kom., Bapak Muhammad Naufal Rachmatullah M.Kom., Ibu Dr. Ade Iriani Sapitri, M.Kom., Ibu Akhiar Wista Arum, M.Kom. dan Ibu Anggun Islami M.Kom. selaku Dosen yang terlibat dalam Intelligent System Research Group..
9. Lab Intelligent System Research Group (IsysRG) yang telah menjadi tempat dan membantu penulis selama menyelesaikan Tugas Akhir ini.

10. Teman-teman seperjuangan Jurusan Sistem Komputer 2021 Indralaya, terutama KFC (Rosa Julia Erizka, Tria Lailani, Tanti Annastasya, Melly Junita, dan Aditiawati) sebagai sahabat penulis yang selalu bersama selama perkuliahan.
11. Ferdiansyah, seseorang yang selalu membantu dan memberikan motivasi serta dukungan kepada penulis.
12. Diana Lestari, selaku sahabat penulis dari sekolah menengah pertama sampai sekarang masih setia kebersamaan.
13. Teman-teman ISysRG dan khususnya Tim Sinyal Batch 6 yang telah menjadi teman dalam bertukar pikiran dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
14. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah memberikan bantuan, semangat serta do'a.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun agar lebih baik lagi dikemudian hari. Akhir kata dengan segala keterbatasan, penulis berharap semoga Laporan Tugas Akhir ini bermanfaat dan berguna bagi khalayak.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Indralaya, Juli 2025

Penulis,

Ririn Purnama Sari
NIM. 09011282126096

PENINGKATAN KINERJA KLASIFIKASI ARITMIA BERBASIS *DEEP FEATURES* DAN *TEACHING- LEARNING BASED OPTIMIZATION*

RIRIN PURNAMA SARI (09011282126096)

Jurusan Sistem Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Sriwijaya

Email: ririnpsr@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini mengembangkan model klasifikasi aritmia berbasis sinyal *elektrokardiogram* (EKG) menggunakan teknik ekstraksi fitur *time domain* RR-interval, dengan penerapan *Teaching-Learning-Based Optimization* (TLO) untuk seleksi fitur. Dataset yang digunakan mencakup MIT-BIH Arrhythmia Database, MIT-BIH Normal Sinus Rhythm Database, MIT-BIH Atrial Fibrillation Database, Lobachevsky University Database, dan QT Database. Proses penelitian dimulai dari pra-pengolahan sinyal menggunakan *discrete wavelet transform* (DWT) untuk *denoising*, deteksi R-peak, hingga ekstraksi fitur RR-interval yang mencakup mean_RR, std_RR, RMS_RR, NN50, pNN50, cv_RR, min_RR, dan max_RR. Seleksi fitur menggunakan TLO dilakukan untuk memperoleh subset fitur optimal yang relevan bagi klasifikasi. Model yang digunakan meliputi CNN, DNN, LSTM, dan BiLSTM, masing-masing diuji dalam dua skenario: dengan dan tanpa seleksi fitur TLO. Evaluasi performa model dilakukan menggunakan metrik akurasi, *recall*, presisi, dan spesifisitas. Hasil menunjukkan bahwa TLO memberikan peningkatan performa pada sebagian besar model. Model DNN+TLO memberikan akurasi test tertinggi sebesar 78%, diikuti oleh CNN+TLO dan LSTM+TLO masing-masing sebesar 75%. Peningkatan juga tercatat pada metrik spesifisitas, di mana DNN+TLO dan CNN+TLO mencapai spesifisitas test sebesar 94% dan 93%.

Kata Kunci: Klasifikasi aritmia, EKG, *Time-domain* RR-interval, TLO

PERFORMANCE IMPROVEMENT OF ARRHYTHMIA CLASSIFICATION BASED ON DEEP FEATURES AND TEACHING-LEARNING BASED OPTIMIZATION

RIRIN PURNAMA SARI (09011282126096)

Computer System Department, Computer Science Faculty, Sriwijaya University

Email: ririnpsr@gmail.com

ABSTRACT

This study developed an arrhythmia classification model based on electrocardiogram (ECG) signals using time-domain RR-interval feature extraction techniques and the implementation of Teaching-Learning-Based Optimization (TLO) for feature selection. The datasets employed include the MIT-BIH Arrhythmia Database, MIT-BIH Normal Sinus Rhythm Database, MIT-BIH Atrial Fibrillation Database, Lobachevsky University Database, and QT Database. The research process began with signal pre-processing using discrete wavelet transform (DWT) for denoising, R-peak detection, and feature extraction of RR-interval parameters, namely mean_RR, std_RR, RMS_RR, NN50, pNN50, cv_RR, min_RR, and max_RR. TLO was employed for feature selection to identify the most relevant subset of features for classification. The models tested included CNN, DNN, LSTM, and BiLSTM, each evaluated under two scenarios: with and without TLO-based feature selection. Model performance was evaluated using metrics of accuracy, recall, precision, and specificity. The findings demonstrate that the application of TLO enhances the performance of most models. The DNN+TLO model achieved the highest test accuracy of 78%, followed by CNN+TLO and LSTM+TLO, both achieving 75%. Notable improvements were also observed in specificity, with DNN+TLO and CNN+TLO attaining 94% and 93%, respectively.

Keywords: *Arrhythmia Classification, ECG, Time-domain RR-interval, TLO*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	I
HALAMAN PENGESAHAN.....	II
AUTHENTICATION PAGE	III
HALAMAN PERSETUJUAN	IV
HALAMAN PERNYATAAN	V
HALAMAN PERSEMBAHAN	VI
KATA PENGANTAR.....	VII
ABSTRAK	IX
ABSTRACT	X
DAFTAR ISI.....	XI
DAFTAR GAMBAR.....	XIV
DAFTAR TABEL	XVI
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Penelitian Terdahulu	5
2.2. Elektrokardiogram.....	8
2.3. Aritmia	9
2.4. <i>Discrete Wavelet Transform</i>	11
2.5. <i>Signal-to-Noise Ratio</i>	11
2.6. RR-Interval.....	12
2.7. Ekstraksi Fitur <i>Time-domain</i>	13
2.7.1. Mean_RR.....	14
2.7.2. Std_RR.....	15
2.7.3. NN50	15
2.7.4. RMS_RR	15
2.7.5. PNN50	16

2.7.6. Cv_RR	16
2.7.7. Min_RR	17
2.7.8. Max_RR.....	17
2.8. <i>Teaching-Learning Based Optimization</i>	17
2.9. <i>Deep Learning</i>	19
2.10. <i>Convolutional Neural Network</i>	20
2.11. <i>Deep Neural Network</i>	23
2.12. <i>Long Short-Term Memory</i>	25
2.13. <i>Bidirectional Long Short-Term Memory</i>	26
2.14. <i>Synthetic Minority Over-sampling Technique (SMOTE)</i>	28
2.15. <i>Confusion Matrix</i>	29
2.15.1. Akurasi.....	30
2.15.2. <i>Recall</i>	30
2.15.3. Presisi.....	31
2.15.4. <i>Specificity</i>	31
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	32
3.1. Kerangka Kerja.....	32
3.2. Akuisisi data	34
3.3. Pra-pengolahan Data	35
3.3.1. <i>Denoising</i>	36
3.3.2. Deteksi <i>R-peak</i>	36
3.3.3. <i>Label encoding</i>	37
3.4. Ekstraksi Fitur	37
3.5. Pembagian Data.....	37
3.6. Penanganan Ketidakseimbangan Kelas	38
3.7. Seleksi Fitur.....	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1. Hasil Akuisisi Data.....	40
4.2. Hasil Pra-pengolahan Data.....	43
4.2.1. Hasil <i>Denoising</i>	43
4.2.2. Hasil Deteksi <i>R-peak</i>	44
4.2.3. Hasil <i>Label encoding</i>	46
4.3. Hasil Ekstraksi Fitur.....	46
4.4. Hasil Seleksi Fitur	47

4.5. Hasil Klasifikasi Model.....	49
4.5.1. Konfigurasi dan Skenario Percobaan.....	50
4.5.2. Hasil Klasifikasi Model CNN.....	52
4.5.3. Hasil Klasifikasi Model DNN	57
4.5.4. Hasil Klasifikasi Model LSTM	61
4.5.5. Hasil Klasifikasi Model BiLSTM.....	65
4.5.6. Perbandingan Kinerja Antar Model.....	69
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	73
5.1. Kesimpulan.....	73
5.2. Saran.....	74
DAFTAR PUSTAKA.....	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Arsitektur sinyal EKG [16]	8
Gambar 2.2 Arsitektur CNN [40].....	21
Gambar 2.3 Arsitektur DNN [43]	24
Gambar 2.4 Arsitektur LSTM [46]	26
Gambar 2.5 Arsitektur BiLSTM [49].....	27
Gambar 2.6 <i>Confusion Matrix</i>	29
Gambar 3.1 Kerangka Kerja Penelitian	33
Gambar 4.1 Sinyal EKG <i>Normal Sinus Rhythm</i>	41
Gambar 4.2 Sinyal EKG <i>Sinus Bradycardia</i>	41
Gambar 4.3 Sinyal EKG <i>Atrial Fibrillation</i>	41
Gambar 4.4 Sinyal EKG <i>Supraventricular Arrhythmia</i>	42
Gambar 4.5 Hasil <i>Denoising</i>	43
Gambar 4.6 R-peak Sinyal EKG <i>Normal Sinus Rhythm</i>	44
Gambar 4.7 R-peak Sinyal EKG <i>Sinus Bradycardia</i>	45
Gambar 4.8 R-peak Sinyal EKG <i>Atrial Fibrillation</i>	45
Gambar 4.9 R-peak Sinyal EKG <i>Supraventricular Arrhythmia</i>	45
Gambar 4.10 Hasil Ekstraksi Fitur.....	47
Gambar 4.11 Grafik Akurasi Model CNN	53
Gambar 4.12 Grafik <i>Loss</i> Model CNN	54
Gambar 4.13 Grafik Akurasi Model CNN+TLO	54
Gambar 4.14 Grafik <i>Loss</i> Model CNN+TLO	55
Gambar 4.15 <i>Confusion matrix</i> CNN pada Data Validasi dan Data Uji	55
Gambar 4.16 <i>Confusion matrix</i> CNN+TLO pada Data Validasi dan Data Uji.....	56
Gambar 4.17 Grafik Akurasi Model DNN.....	58
Gambar 4.18 Grafik <i>Loss</i> Model DNN.....	58
Gambar 4.19 Grafik Akurasi Model DNN+TLO.....	59
Gambar 4.20 Grafik <i>Loss</i> Model DNN+TLO.....	59
Gambar 4.21 <i>Confusion matrix</i> DNN pada Data Validasi dan Data Uji.....	60
Gambar 4.22 <i>Confusion matrix</i> DNN+TLO pada Data Validasi dan Data Uji.....	60
Gambar 4.23 Grafik Akurasi Model LSTM.....	62
Gambar 4.24 Grafik <i>Loss</i> Model LSTM.....	62
Gambar 4.25 Grafik Akurasi Model LSTM+TLO.....	63
Gambar 4.26 Grafik <i>Loss</i> Model LSTM+TLO.....	63
Gambar 4.27 <i>Confusion matrix</i> LSTM pada Data Validasi dan Data Uji.....	64
Gambar 4.28 <i>Confusion matrix</i> LSTM+TLO pada Data Validasi dan Data Uji....	64
Gambar 4.29 Grafik Akurasi Model BiLSTM.....	66
Gambar 4.30 Grafik <i>Loss</i> Model BiLSTM.....	66
Gambar 4.31 Grafik Akurasi Model BiLSTM+TLO.....	67
Gambar 4.32 Grafik <i>Loss</i> Model BiLSTM+TLO	67

Gambar 4.33 <i>Confusion matrix</i> BiLSTM pada Data Validasi dan Data Uji	68
Gambar 4.34 <i>Confusion matrix</i> BiLSTM+TLO pada Data Validasi dan Data Uji	68
Gambar 4.35 Perbandingan Akurasi Model	70
Gambar 4.36 Perbandingan <i>Recall</i> Model	71
Gambar 4.37 Perbandingan Presisi Model	71
Gambar 4.38 Perbandingan Spesifisitas Model	72

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Karakteristik Dataset EKG.....	35
Tabel 4.1 Distribusi Kelas pada Dataset EKG	40
Tabel 4.2 Hasil <i>Label encoding</i>	46
Tabel 4.3 Hasil Seleksi Fitur	49
Tabel 4.4 Rincian Parameter Arsitektur Model.....	51
Tabel 4.5 Konfigurasi Model dengan Seleksi Fitur TLO.....	52
Tabel 4.6 Konfigurasi Model tanpa Seleksi Fitur TLO.....	52
Tabel 4.7 Hasil Evaluasi Kinerja Model CNN.....	52
Tabel 4.8 Hasil Evaluasi Kinerja Model DNN	57
Tabel 4.9 Hasil Evaluasi Kinerja Model LSTM	61
Tabel 4.10 Hasil Evaluasi Kinerja Model BiLSTM.....	65
Tabel 4.11 Perbandingan Hasil Klasifikasi Model.....	69

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Menurut Organisasi Kesehatan Dunia atau WHO, lebih dari 350 juta jiwa di dunia mengalami aritmia [1]. Aritmia merupakan gangguan pada aktivitas listrik jantung yang dapat mempengaruhi irama serta durasi denyut jantung dan dapat berujung pada kondisi serius seperti stroke atau bahkan kematian mendadak [2]. Pada tahun 2019, penyakit kardiovaskular menyebabkan 17,9 juta kematian secara global, yang mewakili 32% dari total kematian yang tercatat, dengan 85% di antaranya disebabkan oleh serangan jantung dan/atau stroke [2].

Deteksi dini aritmia sangat penting untuk mencegah kematian mendadak, mengingat bahwa 80% dari kematian jantung mendadak disebabkan oleh aritmia [3]. Elektrokardiogram (EKG) adalah alat diagnostik *non-invasif* yang efektif dalam mendeteksi berbagai jenis aritmia, namun deteksi manual yang dilakukan oleh ahli membutuhkan waktu dan berisiko menimbulkan kesalahan klasifikasi [2][4].

Untuk mengatasi keterbatasan ini, dikembangkan sistem otomatis untuk klasifikasi aritmia yang bertujuan mempercepat proses diagnosis dan meningkatkan akurasi [5]. Studi terbaru juga menunjukkan bahwa dalam ekstraksi fitur sinyal EKG, metode *time domain* berbasis analisis RR-interval, memiliki potensi yang sangat kuat dalam mendukung diagnosis non-invasif kondisi kardiovaskular yang serius serta efektif untuk mengidentifikasi variabilitas detak jantung dan pola aritmia. Fitur-fitur tersebut memberikan informasi statistik penting untuk membedakan kondisi normal dan abnormal [6].

Dengan kemajuan teknologi, penggunaan *Artificial Intelligence* (AI) dan *Deep Learning* (DL) dalam analisis dan klasifikasi EKG telah menunjukkan potensi yang signifikan untuk meningkatkan akurasi diagnosis [1]. Metode ini mampu mengekstrak fitur-fitur abstrak dari data EKG secara otomatis, mengurangi kebutuhan akan desain fitur manual yang memakan waktu [5]. Dengan perkembangan algoritma DL dan peningkatan ketersediaan data medis, berbagai model DL telah diusulkan untuk klasifikasi aritmia dari sinyal EKG. Pendeteksian

aritmia dengan cepat dan akurat melalui analisis sinyal EKG menjadi semakin penting seiring dengan meningkatnya prevalensi penyakit kardiovaskular di seluruh dunia [7]. Dalam beberapa tahun terakhir, berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan teknik klasifikasi aritmia yang lebih efektif.

Studi terbaru menunjukkan bahwa penggunaan model DL dalam klasifikasi aritmia EKG, seperti LSTM dan *Bidirectional* LSTM (BiLSTM), dapat secara signifikan mengoptimalkan akurasi deteksi. Metode ini memungkinkan ekstraksi fitur yang lebih kompleks dan otomatis dari sinyal EKG, yang secara efektif mengurangi ketergantungan pada desain fitur manual yang memakan waktu. Dalam kajian ini, berbagai pendekatan DL diterapkan untuk mengklasifikasikan sinyal EKG, dengan penekanan khusus pada pengenalan pola RR-interval dalam analisis time-domain yang mendalam. Selain itu, penelitian ini juga menyoroti penggunaan SMOTE untuk menangani ketidakseimbangan kelas dalam dataset, serta penerapan teknik *pre-processing* yang cermat, yang terbukti meningkatkan kinerja model dalam memprediksi aritmia dengan akurasi yang lebih tinggi [9].

Meskipun berbagai metode klasifikasi telah dikembangkan, banyak di antaranya masih memiliki keterbatasan dalam hal akurasi dan efisiensi [7]. *Teaching-Learning Based Optimization* (TLO) adalah algoritma optimasi evolusioner yang efisien, terinspirasi dari proses pengajaran dan pembelajaran dalam kelas. TLO telah terbukti sangat efektif untuk berbagai masalah optimasi dan algoritma ini tidak memerlukan banyak parameter [10].

Penelitian ini akan mengeksplorasi bagaimana fitur *time domain* RR-interval dan kombinasi antara DL dan TLO dapat menghasilkan model yang akurat dalam klasifikasi aritmia. Pendekatan ini diharapkan dapat meningkatkan kemampuan model dalam mengenali pola-pola kompleks RR-interval dalam sinyal EKG, sehingga dapat memberikan hasil yang lebih akurat dalam deteksi aritmia.

1.2. Perumusan Masalah

Rumusan masalah penelitian ini terdiri atas:

1. Bagaimana mengembangkan model klasifikasi aritmia yang dapat mengekstraksi fitur-fitur penting dari sinyal EKG menggunakan teknik ekstraksi fitur *time domain* RR-interval?

2. Bagaimana mengoptimalkan seleksi fitur dengan menggunakan TLO untuk meningkatkan akurasi klasifikasi aritmia?
3. Bagaimana membandingkan kinerja model klasifikasi aritmia yang menerapkan TLO dan yang tidak menerapkan TLO menggunakan metrik evaluasi pada model, yaitu CNN, DNN, LSTM dan Bi-LSTM?

1.3. Batasan Masalah

Berdasarkan pemaparan latar belakang, maka dapat diuraikan batasan masalah yang terdiri atas:

1. Penelitian ini menggunakan dataset dari MIT-BIH Arrhythmia Database, MIT-BIH Normal Sinus Rhythm Database, MIT-BIH Atrial Fibrillation Database, LUIDB, dan QT Database, sebagai sumber data sinyal EKG. Dataset dari sumber lain tidak akan dipertimbangkan dalam penelitian ini.
2. Penelitian ini menggunakan anotasi *R-peak* yang tersedia pada dataset MIT-BIH Arrhythmia Database, MIT-BIH Normal Sinus Rhythm Database, MIT-BIH Atrial Fibrillation Database, dan QT Database. Sedangkan untuk dataset LUIDB, deteksi nilai *R-peak* dilakukan menggunakan library HeartPy.
3. Penelitian ini menggunakan ekstraksi fitur *time domain* RR-interval yang mencakup parameter statistik seperti mean_RR, std_RR, NN50, RMS_50, pNN50, cv_RR, min_RR, dan max_RR untuk menganalisis variabilitas detak jantung dan pola aritmia.
4. Penelitian ini menggunakan model CNN, DNN, LSTM, dan BiLSTM untuk klasifikasi aritmia, dengan mempertimbangkan penerapan teknik optimasi seleksi fitur TLO untuk meningkatkan kinerja model.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengembangkan model klasifikasi aritmia yang mampu mengekstraksi fitur-fitur penting dari sinyal EKG menggunakan teknik ekstraksi fitur *time domain* RR-interval.
2. Mengoptimalkan seleksi fitur dengan menggunakan TLO untuk meningkatkan akurasi klasifikasi aritmia.

3. Membandingkan kinerja model klasifikasi aritmia yang menggunakan TLO dan yang tidak menggunakan TLO menggunakan metrik evaluasi pada model CNN, DNN, LSTM dan Bi-LSTM untuk menilai perbedaan performa masing-masing model.

1.5. Sistematika Penulisan

Rangkuman sistematika penulisan dijelaskan seperti dibawah ini:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan, lingkup, dan prosedur penulisan penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Teori dasar yang mendukung penelitian ini dibahas dalam Bab II.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab III menjelaskan mengenai proses penelitian yang mencakup dataset yang digunakan, kerangka kerja, aplikasi pendukung yang digunakan, beserta rancangan *flowchart* penelitian.

BAB IV HASIL DAN ANALISIS

Bab IV membahas hasil dan analisis dari data yang dikumpulkan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dan Saran Bab V menguraikan temuan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

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

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Prasanna Venkatesh, R. Pradeep Kumar, B. Chakravarthy Neelapu, K. Pal, and J. Sivaraman, “Automated atrial arrhythmia classification using 1D-CNN-BiLSTM: A deep network ensemble model,” *Biomed. Signal Process. Control*, vol. 97, no. July, p. 106703, 2024, doi: 10.1016/j.bspc.2024.106703.
- [2] F. Santander Banos, N. Hernandez Romero, J. C. S. T. Mora, J. M. Marin, I. B. Vite, and G. E. A. Fuentes, “A Novel Hybrid Model Based on Convolutional Neural Network With Particle Swarm Optimization Algorithm for Classification of Cardiac Arrhythmias,” *IEEE Access*, vol. 11, no. June, pp. 55515–55532, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3282315.
- [3] M. Saber and M. Abotaleb, “Arrhythmia Modern Classification Techniques,” *J. Artif. Intell. Metaheuristics*, vol. 1, no. 2, pp. 42–53, 2022, doi: 10.54216/jaim.010205.
- [4] H. K. Kim and M. H. Sunwoo, “An Automated Cardiac Arrhythmia Classification Network for 45 Arrhythmia Classes Using 12-Lead Electrocardiogram,” *IEEE Access*, vol. 12, no. March, pp. 44527–44538, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3380892.
- [5] A. H. Khan, M. Hussain, and M. K. Malik, “Arrhythmia Classification Techniques Using Deep Neural Network,” *Complexity*, vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/9919588.
- [6] J. C. Moses, S. Adibi, M. Angelova, and S. M. S. Islam, “Time-domain heart rate variability features for automatic congestive heart failure prediction,” *ESC Hear. Fail.*, vol. 11, no. 1, pp. 378–389, 2024, doi: 10.1002/ehf2.14593.
- [7] M. Hammad, A. M. Iliyasu, A. Subasi, E. S. L. Ho, and A. A. A. El-Latif, “A Multitier Deep Learning Model for Arrhythmia Detection,” *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 70, 2021, doi: 10.1109/TIM.2020.3033072.
- [8] Y. K. Kim, M. Lee, H. S. Song, and S. W. Lee, “Automatic Cardiac Arrhythmia Classification Using Residual Network Combined With Long Short-Term Memory,” *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 71, pp. 1–17, 2022,

doi: 10.1109/TIM.2022.3181276.

- [9] Q. Xiao *et al.*, “Deep Learning-Based ECG Arrhythmia Classification: A Systematic Review,” *Appl. Sci.*, vol. 13, no. 8, 2023, doi: 10.3390/app13084964.
- [10] Y. Ou, Y. Cai, L. Zeng, W. Zhao, and Y. Chen, “A teaching-learning-based optimization algorithm for reliability analysis with an adaptive penalty coefficient,” *Structures*, vol. 65, no. June, p. 106695, 2024, doi: 10.1016/j.istruc.2024.106695.
- [11] A. Darmawahyuni *et al.*, “An improved electrocardiogram arrhythmia classification performance with feature optimization,” *BMC Med. Inform. Decis. Mak.*, vol. 24, no. 1, 2024, doi: 10.1186/s12911-024-02822-7.
- [12] C. Jing, Z. Ge, D. Mengkun, H. Xinlei, L. Guangda, and N. Weiguang, “Real-Time Arrhythmia Classification Algorithm Using Time-Domain ECG,” *Math. Probl. Eng.*, 2021.
- [13] H. Mulam, V. R. Chikati, and B. Salugu, “Electrocardiogram Based Arrhythmia Classification Using Long Short-Term Memory with Luong Attention Mechanism,” *Int. J. Intell. Eng. Syst.*, vol. 17, no. 3, pp. 696–705, 2024, doi: 10.22266/ijies2024.0630.54.
- [14] C. V. Deshpande and S. A. Naveed, “ECG Classification Using Machine Learning,” vol. 9, no. March, pp. 357–367, 2024.
- [15] N. A. Nayan and H. A. Hamid, “Evaluation of patient electrocardiogram datasets using signal quality indexing,” *Bull. Electr. Eng. Informatics*, vol. 8, no. 2, pp. 519–526, 2019, doi: 10.11591/eei.v8i2.1289.
- [16] S. R. Marwa and M. A. Shakir, “Improving ECG signals classification by using deep learning techniques: A review,” *ITM Web Conf.*, vol. 64, p. 01023, 2024, doi: 10.1051/itmconf/20246401023.
- [17] Y. Ansari, O. Mourad, K. Qaraqe, and E. Serpedin, “Deep learning for ECG Arrhythmia detection and classification: an overview of progress for period 2017–2023,” *Front. Physiol.*, vol. 14, no. September, 2023, doi:

10.3389/fphys.2023.1246746.

- [18] S. Somani *et al.*, “Deep learning and the electrocardiogram: Review of the current state-of-the-art,” *Europace*, vol. 23, no. 8, pp. 1179–1191, 2021, doi: 10.1093/europace/euaa377.
- [19] S. Bhattacharya and S. Shahnawaz, “Atrial Fibrillation: A Medical and Technological Review,” pp. 1–11, 2021, doi: 10.13140/RG.2.2.35263.64160.
- [20] W. Li, “Wavelets for electrocardiogram: Overview and taxonomy,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 25627–25649, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2877793.
- [21] T. R. Shultz and S. E. Fahlman, *Encyclopedia of Machine Learning and Data Mining*. 2017. doi: 10.1007/978-1-4899-7687-1.
- [22] X. Xie, S. Peng, and X. Yang, “Deep Learning-Based Signal-To-Noise Ratio Estimation Using Constellation Diagrams,” *Mob. Inf. Syst.*, vol. 2020, 2020, doi: 10.1155/2020/8840340.
- [23] U. R. Acharya, H. Fujita, O. S. Lih, Y. Hagiwara, J. H. Tan, and M. Adam, “Automated detection of arrhythmias using different intervals of tachycardia ECG segments with convolutional neural network,” *Inf. Sci. (Ny)*, vol. 405, pp. 81–90, 2017, doi: 10.1016/j.ins.2017.04.012.
- [24] T. Lyu *et al.*, “Assessment of the long RR intervals using convolutional neural networks in single-lead long-term Holter electrocardiogram recordings,” *Sci. Rep.*, vol. 15, no. 1, pp. 1–11, 2025, doi: 10.1038/s41598-025-96622-2.
- [25] C. Altın and O. Er, “Comparison of Different Time and Frequency Domain Feature Extraction Methods on Elbow Gesture’s EMG,” *Eur. J. Interdiscip. Stud.*, vol. 5, no. 1, p. 35, 2016, doi: 10.26417/ejis.v5i1.p35-44.
- [26] A. K. Singh and S. Krishnan, *ECG signal feature extraction trends in methods and applications*, vol. 22, no. 1. BioMed Central, 2023. doi: 10.1186/s12938-023-01075-1.

- [27] H. Helmi and A. Forouzentabar, "Rolling bearing fault detection of electric motor using *time domain* and frequency domain features extraction and ANFIS," *IET Electr. Power Appl.*, vol. 13, no. 5, pp. 662–669, 2019, doi: 10.1049/iet-epa.2018.5274.
- [28] A. Parsi, D. Byrne, M. Glavin, and E. Jones, "Heart rate variability feature selection method for automated prediction of sudden cardiac death," *Biomed. Signal Process. Control*, vol. 65, no. October 2020, p. 102310, 2021, doi: 10.1016/j.bspc.2020.102310.
- [29] R. Venkata Rao and V. D. Kalyankar, "Parameter optimization of machining processes using a new optimization algorithm," *Mater. Manuf. Process.*, vol. 27, no. 9, pp. 978–985, 2012, doi: 10.1080/10426914.2011.602792.
- [30] Y. Xu, Z. Yang, X. Li, H. Kang, and X. Yang, "Dynamic opposite learning enhanced teaching–learning-based optimization," *Knowledge-Based Syst.*, vol. 188, p. 104966, 2020, doi: 10.1016/j.knosys.2019.104966.
- [31] G. Chandrashekar and F. Sahin, "A survey on feature selection methods," *Comput. Electr. Eng.*, vol. 40, no. 1, pp. 16–28, 2014, doi: 10.1016/j.compeleceng.2013.11.024.
- [32] M. Manonmani and S. Balakrishnan, "Feature Selection Using Improved Teaching Learning Based Algorithm on Chronic Kidney Disease Dataset," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 171, no. 2019, pp. 1660–1669, 2020, doi: 10.1016/j.procs.2020.04.178.
- [33] A. Alouache, "Feature Selection Using Teaching-Learning-Based Optimization Algorithm for Classification of Remote Sensing Images," *2024 21st Int. Conf. Electr. Eng. Comput. Sci. Autom. Control. CCE 2024*, 2024, doi: 10.1109/CCE62852.2024.10770964.
- [34] P. Sarzaeim, O. Bozorg-Haddad, and X. Chu, "Teaching-Learning-Based Optimization (TLBO) Algorithm BT - Advanced Optimization by Nature-Inspired Algorithms," pp. 51–58, 2018, doi: 10.1007/978-981-10-5221-7.
- [35] A. P. Wibawa, F. A. Dwiyanto, and A. B. P. Utama, "Deep learning in

- education: a bibliometric analysis,” *Bull. Soc. Informatics Theory Appl.*, vol. 6, no. 2, pp. 151–157, 2022, doi: 10.31763/businta.v6i2.596.
- [36] I. H. Sarker, “Deep Learning: A Comprehensive Overview on Techniques, Taxonomy, Applications and Research Directions,” *SN Comput. Sci.*, vol. 2, no. 6, pp. 1–20, 2021, doi: 10.1007/s42979-021-00815-1.
- [37] N. Katal, S. Gupta, P. Verma, and B. Sharma, “Deep-Learning-Based Arrhythmia Detection Using ECG Signals: A Comparative Study and Performance Evaluation,” *Diagnostics*, vol. 13, no. 24, 2023, doi: 10.3390/diagnostics13243605.
- [38] L. Alzubaidi *et al.*, *Review of deep learning: concepts, CNN architectures, challenges, applications, future directions*, vol. 8, no. 1. Springer International Publishing, 2021. doi: 10.1186/s40537-021-00444-8.
- [39] A. A. Rawi, M. K. Albashir, and A. M. Ahmed, “Classification and Detection of ECG Arrhythmia and Myocardial Infarction Using Deep Learning: A Review,” *Webology*, vol. 19, no. 1, pp. 1151–1170, 2022, doi: 10.14704/web/v19i1/web19078.
- [40] Z. Ebrahimi, M. Loni, M. Daneshtalab, and A. Gharehbaghi, “A review on deep learning methods for ECG arrhythmia classification,” *Expert Syst. with Appl. X*, vol. 7, p. 100033, 2020, doi: 10.1016/j.eswax.2020.100033.
- [41] J. Song and Y. Chen, “A Study on the Application and the Advancement of Deep Neural Network Algorithm,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2146, no. 1, pp. 0–6, 2022, doi: 10.1088/1742-6596/2146/1/012001.
- [42] M. Bahi and M. Batouche, “Deep Learning for Ligand-Based Virtual Screening in Drug Discovery,” *Proc. - PAIS 2018 Int. Conf. Pattern Anal. Intell. Syst.*, no. October 2018, 2018, doi: 10.1109/PAIS.2018.8598488.
- [43] J. Feng, X. He, Q. Teng, C. Ren, H. Chen, and Y. Li, “Reconstruction of porous media from extremely limited information using conditional generative adversarial networks,” *Phys. Rev. E*, vol. 100, no. 3, p. 33308, 2019, doi: 10.1103/PhysRevE.100.033308.

- [44] M. Saber and M. Abotaleb, "Arrhythmia Modern Classification Techniques: A Review," *J. Artif. Intell. Metaheuristics*, vol. 1, no. 2, pp. 42–53, 2022, doi: 10.54216/jaim.010205.
- [45] A. Gour, M. Gupta, R. Wadhvani, and S. Shukla, "ECG Based Heart Disease Classification: Advancement and Review of Techniques," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 235, pp. 1634–1648, 2024, doi: 10.1016/j.procs.2024.04.155.
- [46] R. Nadeem, "A Deep Dive into Long Short-Term Memory (LSTM) Networks." Accessed: Feb. 10, 2025. [Online]. Available: <https://medium.com/@rameesanadeem9/a-deep-dive-into-long-short-term-memory-lstm-networks-048cb24e413d>
- [47] O. N. Akande, M. O. Lawrence, and P. Ogedebe, "Application of bidirectional LSTM deep learning technique for sentiment analysis of COVID - 19 tweets : post - COVID vaccination era," *J. Electr. Syst. Inf. Technol.*, 2023, doi: 10.1186/s43067-023-00118-w.
- [48] H. Wang, "Effectiveness and optimization of bidirectional long short-term memory (BiLSTM) based fast detection of deep fake face videos for real-time applications," 2025, doi: 10.7717/peerj-cs.2867.
- [49] K. Pasupa, T. Seneewong, and N. Ayutthaya, "Thai sentiment analysis with deep learning techniques : A comparative study based on word embedding , POS-tag , and sentic features," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 50, no. May, p. 101615, 2019, doi: 10.1016/j.scs.2019.101615.
- [50] J. Erhani, P. É. Portier, E. Egyed-Zsigmond, and D. Nurbakova, "Confusion Matrices: A Unified Theory," *IEEE Access*, vol. 12, no. October, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3507199.
- [51] E. R. Vianti, J. S. Komputer, F. I. Komputer, and U. Sriwijaya, *Klasifikasi aritmia pada sinyal fetal ecg berbasis*. 2024.