

**PENINGKATAN KINERJA KLASIFIKASI ARITMIA
PADA SINYAL FETAL ELEKTROKARDIOGRAM
BERBASIS *DEEP LEARNING***

SKRIPSI

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



OLEH:

**ROSA JULIA ERIZKA
09011282126105**

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

HALAMAN PENGESAHAN

SKRIPSI

PENINGKATAN KINERJA KLASIFIKASI ARITMIA PADA SINYAL FETAL ELEKTROKARDIOGRAM BERBASIS *DEEP LEARNING*

Sebagai salah satu syarat untuk penyelesaian studi di

Program Studi S1 Sistem Komputer

Oleh:

ROSA JULIA ERIZKA

09011282126105

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 ARRHYTHMIA
CLASSIFICATION IN THE FETAL ELECTROCARDIOGRAM
SIGNAL BASED ON DEEP LEARNING***

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

By:

ROSA JULIA ERIZKA

09011282126105

***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

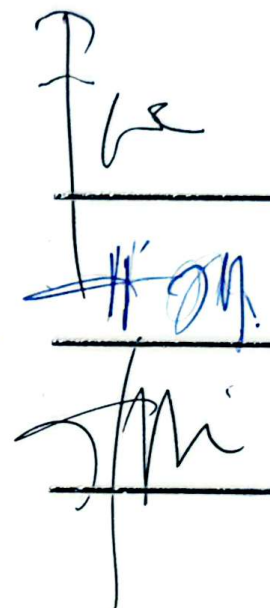
Tanggal : 26 Juni 2025

Tim Penguji :

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

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

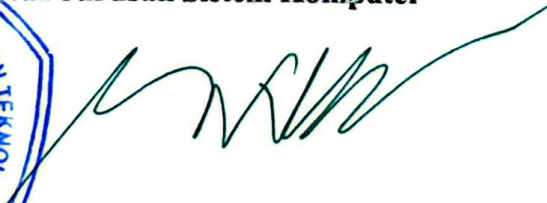
3. Pembimbing : Prof. Ir. Siti Nurmaini, M.T., Ph.D.





Mengetahui, 12/7/25

Ketua Jurusan Sistem Komputer


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

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Rosa Julia Erizka

NIM : 09011282126105

Judul : Peningkatan Kinerja Klasifikasi Aritmia pada Sinyal Elektrokardiogram Berbasis *Deep Learning*

Hasil Pengecekan Software Turnitin: 1%

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.



Palembang, Juli 2025



ROSA JULIA ERIZKA
NIM. 09011282126105

HALAMAN PERSEMBAHAN

1. Dengan penuh rasa syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, skripsi ini saya persembahkan kepada kedua orang tua tercinta atas segala doa, kasih sayang, dan dukungan yang tak ternilai. Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada kedua kakak saya yang selalu menjadi sumber semangat dan motivasi.
2. Skripsi ini juga saya dedikasikan kepada para sahabat yang telah setia menemani serta menguatkan dalam proses penyusunan karya ini. Penghargaan setinggi-tingginya saya haturkan kepada para dosen dan pembimbing di Universitas Sriwijaya, khususnya kepada research group Intelligent System and Signal Research Group (ISYSRG), atas ilmu, arahan, dan kesempatan pengembangan diri yang sangat berarti. Semoga karya ini dapat memberikan manfaat dan menjadi kontribusi kecil dalam dunia akademik dan riset.

MOTTO

“Selamat datang wahai penuntut ilmu. Sesungguhnya penutup ilmu benar-benar ditutupi para Malaikat dan dinaungi dengan sayap-sayapnya. Kemudian mereka saling bertumpuk-tumpuk hingga mencapai langit dunia (langit paling dekat dari bumi), karena kecintaan mereka (Malaikat) kepada ilmu yang dipelajarinya.”

(HR. Ath-Thabrani no. 7347 dalam Al-Mu'jam Al-Kabir).

“Ain't about how fast I get there, ain't about what's waiting on the other side. It's the climb.” The Climb – Miley Cyrus

“One step, one word, one win at a time. Tidak perlu sempurna untuk maju, yang terpenting ialah terus berusaha dan tidak berhenti. Karena keberhasilan bukan milik mereka yang selalu tahu segalanya, melainkan milik mereka yang tidak pernah menyerah untuk belajar dan mencoba”

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat, kasih sayang, dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Peningkatan Kinerja Klasifikasi Aritmia pada Sinyal Fetal Elektrokardiogram Berbasis *Deep Learning*”.

Laporan ini menghadirkan langkah signifikan dalam pengembangan diagnostik prenatal dengan memanfaatkan pendekatan deep learning. Fokus utama adalah meningkatkan kinerja klasifikasi aritmia pada sinyal fetal ECG melalui pendekatan *deep learning*. Dengan kombinasi antara keahlian dalam analisis data, pemrosesan sinyal digital, dan kecanggihan algoritma *deep learning*, saya berharap bahwa hasil dari penelitian ini dapat memberikan manfaat yang nyata bagi praktisi medis dan pasien.

Selama proses penulisan Tugas Akhir ini, penulis memperoleh banyak ide, bantuan, dan masukan dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT, atas berkah, kesehatan, dan kesempatan yang diberikan kepada penulis sehingga mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Orang tua, keluarga, dan teman-teman yang telah memberikan doa serta dukungan moril dan materil.
3. Bapak Prof. Dr. Erwin, S.Si, M.Si., selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya, atas dukungannya.
4. Bapak Dr. Ir. Sukemi, M.T., selaku Ketua Jurusan Sistem Komputer Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya, atas bimbingannya.
5. Bapak Adi Hermansyah, S.Kom., M.T selaku Dosem Pembimbing Akademik.
6. Ibu Prof. Ir. Siti Nurmaini, M.T., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, yang telah memberikan waktu, saran, motivasi, dan bimbingan terbaik kepada penulis.

7. Dr. Annisa Darmawahyuni, M.Kom., selaku mentor yang dengan sabar memberikan motivasi dan arahan terperinci dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. 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.
9. Lab Intelligent System Research Group (IsysRG) yang telah menjadi tempat diskusi dan fasilitas yang membantu penulis selama menyelesaikan Tugas Akhir ini.
10. Teman-teman seperjuangan Jurusan Sistem Komputer 2021 Indralaya, terutama KFC (Ririn Purnama Sari, Tria Lailani, Tanti Annastasya, Melly Junita, Aditiawati dan Rizqi Hairunnisa) sebagai sahabat penulis yang selalu bersama selama perkuliahan.
11. Pak Angga, selaku admin Jurusan Sistem Komputer, yang telah membantu pengurusan seluruh berkas administrasi.
12. Serta semua pihak lain yang telah memberikan bantuan selama proses penulisan ini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan menjadi referensi yang berharga bagi banyak pihak.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Indralaya, Juli 2025

Penulis,



Rosa Julia Erizka
NIM. 09011282126105

PENINGKATAN KINERJA KLASIFIKASI ARITMIA PADA SINYAL FETAL ELEKTROKARDIOGRAM BERBASIS *DEEP LEARNING*

Rosa Julia Erizka (09011282126105)

Jurusan Sistem Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Sriwijaya

Email: rosajuliaerizkaa@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini untuk meningkatkan performa pada klasifikasi aritmia pada model *deep learning* menggunakan algoritma *Teaching Learning Based Optimization* (TLO) untuk pengoptimalan fiturnya. Dimana fitur yang digunakan diekstraksi menggunakan *time domain* dari RR interval yang telah didapatkan pada proses pra-pengolahan. Dataset NIFEA-DB dan NIFECG digunakan dalam penelitian ini, dengan mengambil *R-peak* menggunakan pustaka Heartpy dari Python dan dari file anotasi yang telah tersedia pada dataset. Hasil dari RR interval ini akan digunakan untuk menghitung fitur domain waktu yaitu, mean_RR, std_RR, nn_50, rms_RR, pnn_50, cv_RR, min_RR, dan max_RR. Model klasifikasi yang digunakan, yaitu model DNN, CNN, LSTM, dan BiLSTM yang akan dibandingkan dengan yang menggunakan TLO. Hasil menunjukkan TLO memberikan konsistensi yang baik terhadap data validasi dan data ujinya. Model DNN+TLO, CNN+TLO, BiLSTM+TLO memberikan hasil metrik yang sama yaitu akurasi sebesar 95,6%, *recall* dan *specificity* sebesar 97.7%, dan presisi 75%, menandakan bahwa TLO dapat membantu meningkatkan performa model. Pada LSTM+TLO menunjukkan penurunan kinerja disebabkan *overfitting* pada model terutama dalam data uji. Model *deep learning* BiLSTM+TLO dan DNN+TLO menunjukkan grafik akurasi dan *loss* yang lebih stabil, dan *confusion matrix* baik pada data validasi dan data uji (*unseen*) mampu memprediksi dengan benar pada setiap kelasnya. Oleh karena itu, model BiLSTM+TLO dan DNN+TLO menjadi model terbaik dalam melakukan klasifikasi aritmia pada dataset fetal ECG.

Kata kunci: Fetal EKG, NIFEA-DB, NIFECG, aritmia, *deep learning*, TLO

IMPROVING THE PERFORMANCE OF ARRHYTHMIA CLASSIFICATION IN THE FETAL ELECTROCARDIOGRAM SIGNAL BASED ON DEEP LEARNING

Rosa Julia Erizka (09011282126105)

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

Email: rosajuliaerizkaa@gmail.com

ABSTRACT

This study aims to improve the performance of arrhythmia classification in deep learning models using the Teaching Learning Based Optimization (TLO) algorithm for feature optimization. The features used are extracted from the time domain of RR intervals obtained during the preprocessing stage. The NIFEA-DB and NIFECG datasets are utilized in this study, with R-peaks extracted using the Heartpy library in Python and from the annotation files provided in the dataset. The results of the RR interval are used to calculate time domain features, namely mean_RR, std_RR, nn_50, rms_RR, pnn_50, cv_RR, min_RR, and max_RR. The classification models used are DNN, CNN, LSTM, and BiLSTM, which are compared with those using TLO. The results show that TLO provides good consistency with the validation data and test data. The DNN+TLO, CNN+TLO, and BiLSTM+TLO models produce the same metric results, namely an accuracy of 95.6%, recall and specificity of 97.7%, and precision of 75%, indicating that TLO can help improve model performance. The LSTM+TLO model showed a decline in performance due to overfitting, particularly in the test data. The deep learning models BiLSTM+TLO and DNN+TLO exhibited more stable accuracy and loss curves, and the confusion matrix for both the validation and test (unseen) data accurately predicted each class. Therefore, the BiLSTM+TLO and DNN+TLO models are the best models for classifying arrhythmias in the fetal ECG dataset.

Keyword: Fetal ECG, NIFEA-DB, NIFECG, arrhythmia, deep learning, TLO

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
AUTHENTICATION PAGE	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
LEMBAR PERNYATAAN	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian.....	3
1.3. Manfaat Penelitian.....	3
1.4. Rumusan Masalah	4
1.5. Batasan Masalah.....	4
1.6. Metodologi Penelitian	5
1.6.1. Akuisisi Data.....	5
1.6.2. Pra-pengolahan Data.....	5
1.6.3. Ekstraksi Fitur.....	5
1.6.4. Pengembangan Model.....	5
1.6.5. Hasil dan Analisa	6
1.6.6. Kesimpulan	6
1.7. Sistematika Penulisan.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1. Penelitian Terdahulu	8
2.2. Elektrokardiogram.....	11
2.3. Aritmia	12
2.4. <i>Discrete Wavelet Transform</i>	12
2.5. <i>Signal-to-Noise Ratio</i>	13
2.6. RR- interval	14

2.7.	<i>Time Domain</i>	15
2.7.1.	<i>Mean</i>	16
2.7.2.	<i>Standard Deviation</i>	16
2.7.3.	<i>NN50</i>	16
2.7.4.	<i>Root Mean Square</i>	17
2.7.5.	<i>Percentage of NN50</i>	17
2.7.6.	<i>Coefficient of Variation of RR</i>	17
2.7.7.	<i>Minimum RR Interval</i>	18
2.7.8.	<i>Maksimum RR Interval</i>	18
2.8.	<i>Synthetic Minority Oversampling Technique (SMOTE)</i>	18
2.9.	<i>Teaching-Learning Based Optimilization</i>	19
2.9.1.	<i>Teaching Phase</i>	19
2.9.2.	<i>Learning Phase</i>	20
2.10.	<i>DNN</i>	21
2.11.	<i>Convolutional Neural Network</i>	22
2.12.	<i>LSTM</i>	23
2.13.	<i>BiLSTM</i>	23
2.14.	<i>Confusion Matrix</i>	24
2.14.1.	<i>Akurasi</i>	25
2.14.2.	<i>Recall</i>	25
2.14.3.	<i>Presisi</i>	26
2.14.4.	<i>Specificity</i>	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		27
3.1.	<i>Kerangka Kerja</i>	27
3.2.	<i>Akuisisi Data</i>	28
3.3.	<i>Pra-pengolahan Data</i>	29
3.4.	<i>Ekstraksi Fitur</i>	30
3.5.	<i>Data Splitting</i>	31
3.6.	<i>SMOTE</i>	32
3.7.	<i>Seleksi Fitur</i>	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		33
4.1.	<i>Hasil Akuisisi Data</i>	33
4.2.	<i>Hasil Pra-pengolahan Data</i>	34
4.2.1.	<i>Hasil Denoising</i>	34

4.2.2.	Hasil Pengambilan Anotasi <i>R-peak</i>	35
4.3.	Hasil Ekstraksi Fitur.....	36
4.4.	Hasil Seleksi Fitur	37
4.5.	Skenario Model Klasifikasi	39
4.6.	Hasil Klasifikasi Model <i>Deep Learning</i>	40
4.6.1.	Hasil Klasifikasi Setiap Model	41
4.6.2.	Hasil Grafik <i>Training</i> dan <i>Confusion Matrix</i>	44
4.6.2.1.	Model DNN	44
4.7.	Perbandingan Hasil Klasifikasi	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		54
5.1.	Kesimpulan.....	54
5.2.	Saran.....	55
DAFTAR PUSTAKA.....		56
LAMPIRAN.....		60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Gelombang Kompleks PQRS [7]	11
Gambar 2.2 Arsitektur DNN [4]	21
Gambar 2. 3. Arsitektur CNN [4]	22
Gambar 2. 4. Arsitektur LSTM [41]	23
Gambar 2. 5. Arsitektur BiLSTM	24
Gambar 2. 6 Confusion Matrix [4]	25
Gambar 3. 1 Kerangka Kerja Penelitian	27
Gambar 3. 2 Alur Pra-pengolahan	30
Gambar 4. 1 Gambar Sinyal Fetal EKG Aritmia	33
Gambar 4. 2 Gambar Sinyal Fetal EKG Normal	33
Gambar 4. 3 Hasil Denoising	35
Gambar 4. 4 Hasil R-peak Pada Kelas Aritmia	35
Gambar 4. 5 Hasil R-peak Pada Kelas Normal	36
Gambar 4. 6 Grafik Akurasi dan Loss DNN	44
Gambar 4. 7 Confusion Matrix DNN	45
Gambar 4. 8 Grafik Akurasi dan Loss DNN+TLO	45
Gambar 4. 9 Confusion Matrix DNN+TLO	46
Gambar 4. 10 Grafik Akurasi dan Loss CNN	46
Gambar 4. 11 Confusion Matrix CNN	47
Gambar 4. 12 Grafik Akurasi dan Loss CNN+TLO	47
Gambar 4. 13 Confusion Matrix CNN+TLO	47
Gambar 4. 14 Grafik Akurasi dan Loss LSTM	48
Gambar 4. 15 Confusion Matrix LSTM	48
Gambar 4. 16 Grafik Akurasi dan Loss LSTM+TLO	49
Gambar 4. 17 Confusion Matrix LSTM+TLO	49
Gambar 4. 18 Grafik Akurasi dan Loss BiLSTM	50
Gambar 4. 19 Confusion Matrix BiLSTM	50
Gambar 4. 20 Grafik Akurasi dan Loss BiLSTM+TLO	51
Gambar 4. 21 Confusion Matrix BiLSTM+TLO	51
Gambar 4. 22 Grafik Perbandingan Metrik Evaluasi	52

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kasus Model pada Penelitian Terdahulu	9
Tabel 2. 2 Rata-rata hasil SNR.....	13
Tabel 3. 1 Deskripsi Dataset fECG.....	29
Tabel 3. 2 Distribusi SMOTE	32
Tabel 4. 1 Hasil Akuisisi Data	34
Tabel 4. 2 Fitur Time Domain dari RR Interval	36
Tabel 4. 3 Hasil Seleksi Fitur dan Parameter TLO	37
Tabel 4. 4 Parameter Arsitektur Model.....	39
Tabel 4. 5 Skenario Model Penelitian.....	40
Tabel 4. 6 Jumlah Fitur yang Digunakan.....	40
Tabel 4. 7 Hasil Training Pada Data Validasi.....	41
Tabel 4. 8 Hasil Training Pada Data Uji.....	42

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Elektrokardiogram (EKG) adalah rekaman grafis dari aktivitas listrik jantung selama waktu tertentu memakai elektroda yang ditempelkan di tubuh pasien. Pengukuran elektrokardiogram pada janin dan pemantauan detak jantung janin (f-HR) semasa tahap awal kehamilan sangat penting untuk identifikasi awal penyakit pada janin. Salah satu penyakit yang dapat diidentifikasi ialah aritmia. Kondisi di mana irama detak jantung pada janin tidak teratur dikenal sebagai *fetal arrhythmia*, ini dapat terjadi pada 1-2% dari kehamilan dan biasanya direkam sebagai kasus sementara dan jinak [1].

Penelitian ini berfokus pada peningkatan klasifikasi sinyal medis untuk mengelompokkan sinyal normal dan sinyal aritmia menggunakan pendekatan *deep learning*. Dalam konteks analisis sinyal elektrokardiografi (ECG), *deep learning* telah menunjukkan kemampuan yang baik dalam mendeteksi aritmia, baik pada sinyal ECG dewasa maupun sinyal elektrokardiografi janin *non-invasif* [2]. Algoritma *deep learning* telah menunjukkan potensi yang luar biasa dalam pemrosesan sinyal medis, termasuk dalam klasifikasi dan deteksi aritmia. Namun, meskipun berbagai model *deep learning* telah dikembangkan, masih terdapat tantangan signifikan dalam hal peningkatan akurasi, efisiensi, dan generalisasi model tersebut ketika diterapkan pada sinyal *fetal electrocardiogram* (fECG).

Metode *deep learning* memiliki keunggulan karena tidak memerlukan fitur yang dirancang secara manual, yang sering kali menjadi tantangan dalam analisis sinyal yang kompleks seperti *Non-Invasive Fetal ECG Arrhythmia Database* (NIFEA DB) dan *The Non-Invasive Fetal Electrocardiogram Database* (NIFEKG) yang terpengaruh oleh *noise*, aktivitas fetal, dan sinyal maternal yang lebih dominan [2]. Dengan menggunakan dataset NIFEA DB dan NIFEKG yang tersedia secara terbuka, penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja klasifikasi aritmia dengan memanfaatkan teknik *deep learning* untuk mengolah sinyal pada kedua dataset tersebut tanpa harus menghilangkan sinyal ECG maternal.

Namun, meskipun potensi teknologi ini besar, implementasi yang efektif dalam konteks sinyal fetal ECG masih menghadapi berbagai tantangan. Tantangan ini meliputi kebutuhan untuk mengembangkan model yang mampu menangani data dengan kualitas yang bervariasi, meningkatkan generalisasi model agar dapat bekerja dengan baik pada data yang belum pernah dilihat sebelumnya, serta mengoptimalkan arsitektur jaringan untuk mencapai kinerja yang optimal. Juga faktor seperti hasil dari ekstraksi fitur serta pengoptimalan pemilihan fitur memiliki pengaruh besar untuk keberhasilan model *deep learning* dalam melakukan klasifikasinya dengan baik.

Pada tahap awal penelitian ini dilakukan pengolahan data sinyal ECG, dilakukan pembersihan sinyal dengan *Discrete Wavelet Transform* (DWT) untuk mengurangi *noise* pada sinyal asli. Transformasi dengan DWT dianggap lebih baik dalam mengurangi *noise* karena menawarkan representasi frekuensi waktu dari sinyal, sehingga bisa diterapkan pada kasus spektrum frekuensi sinyal yang tumpang tindih seperti sinyal *fetal ECG* [3]. Pengambilan posisi *R-peak* dilakukan pada setiap *record* dalam kedua dataset yang digunakan, pengambilan RR interval ini efektif dalam analisis untuk detak jantung pada sinyal ECG. Pengambilan posisi *R-peak* ini menggunakan pustaka Python yaitu HeartPy dan pengambilan langsung pada anotasi dari file QRS datasetnya yang tersedia. Setelah dilakukan transformasi dengan DWT dan pengambilan *R-peak*, dilakukan ekstraksi fitur dengan menggunakan *time domain*, dari RR interval berupa parameter nilai yaitu, *mean_RR*, *Standard Deviation (STD)/std-rr*, *nn_50*, *rms_RR*, *pnn50*, *cv_RR*, *min_RR*, *max_RR*. Selanjutnya, dilakukan ekstraksi fitur menggunakan *Teaching Learning Based Optimization* (TLO). Dari fitur parameter yang dihitung pada *Time Domain* akan dipilih fitur yang optimal dan relevan berdasarkan pola sinyal, untuk dilanjutkan pada model klasifikasi *deep learning*. Kombinasi antara TLO dan *deep learning* diharapkan dapat memberikan hasil akurasi yang lebih baik, dan data yang diolah mampu mempresentasikan dan menghasilkan performa yang optimal dalam model klasifikasi sinyal aritmia.

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja klasifikasi aritmia pada sinyal fECG dengan memanfaatkan kombinasi optimasi dengan TLO dan *deep learning*. Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat tercipta sebuah sistem yang

lebih akurat dan andal dalam mendeteksi aritmia pada janin, yang pada akhirnya dapat mendukung keputusan klinis yang lebih tepat dan meningkatkan kualitas perawatan prenatal.

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Melakukan proses *preprocessing* data sinyal fECG dari dataset yang digunakan yaitu NIFEA-DB dan NIFECG untuk mendapatkan *RR-interval* dengan menggunakan HeartPy dan dari anotasi QRS dataset, sehingga memudahkan proses klasifikasi aritmia yang lebih akurat dan efisien.
- b. Untuk melakukan ekstraksi fitur menggunakan *time domain* atau domain waktu berbasis RR interval yang dapat mempresentasikan dari karakteristik rekaman fECG, sehingga fitur yang digunakan mencerminkan dari sinyal itu.
- c. Membangun model klasifikasi yaitu CNN, DNN, LSTM, dan BiLSTM yang dioptimalisasi dengan TLO, sehingga fitur yang digunakan lebih optimal dan model dapat melakukan proses klasifikasi dan kinerja tiap model lebih efisien.
- d. Melakukan perbandingan kinerja model klasifikasi yang dioptimalkan dengan TLO dengan membandingkannya dengan menggunakan berbagai metrik evaluasi.

1.3. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Menjadi gambaran dalam prosedur melakukan *preprocessing* untuk mendapatkan RR interval pada sinyal fECG, dengan menggunakan HeartPy untuk dataset NIFEA-DB dan pengambilan anotasi QRS yang tersedia pada dataset NIFECG.
- b. Membantu untuk menjadi referensi tentang penggunaan dari fitur *time domain* untuk mengekstraksi indikator yang penting dari RR interval yang membedakan sinyal fECG yang termasuk aritmia atau normal.
- c. Menjadi referensi dan landasan untuk penelitian lebih lanjut mengenai peningkatan kinerja klasifikasi dengan berbagi arsitektur model (CNN, DNN, LSTM, dan BiLSTM) yang dioptimalkan dengan TLO untuk meningkatkan akurasi dalam pemilihan fitur terbaik untuk model.

- d. Memberikan referensi tentang perbandingan peningkatan kinerja klasifikasi terbaik pada model *deep learning* yang berbasis TLO, terutama dalam klasifikasi sinyal ECG, sehingga dapat mendorong pengembangan model lebih efektif dan efisien.

1.4. Rumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini untuk meningkatkan kinerja klasifikasi aritmia pada sinyal fECG dirangkum sebagai berikut:

- a. Bagaimana proses *preprocessing* data sinyal fECG dari dataset yang digunakan yaitu NIFEA-DB dan NIFECG untuk mendapatkan *RR-interval* dengan menggunakan HeartPy dan dari anotasi QRS dataset?
- b. Bagaimana melakukan ekstraksi fitur menggunakan time domain atau domain waktu berbasis RR interval yang dapat mempresentasikan dari karakteristik rekaman fECG?
- c. Bagaimana membangun model klasifikasi yaitu CNN, DNN, LSTM, dan BiLSTM yang dioptimalisasi dengan TLO, sehingga fitur yang digunakan lebih optimal?
- d. Bagaimana perbandingan kinerja model *deep learning* yang dioptimalkan dengan TLO dengan membandingkannya dengan menggunakan berbagai metrik evaluasi.

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Penelitian ini terbatas pada penggunaan dataset public fECG yaitu dataset NIFEA-DB, dan dataset NIFECG untuk peningkatan kinerja klasifikasi aritmia pada sinyal fetal ECG.
- b. Proses *preprocessing* pada sinyal fECG pada penelitian ini menggunakan HeartPy dan pengambilan dari file anotasi QRS yang tersedia pada salah satu dataset, untuk mengambil RR interval pada tiap rekaman sinyal.
- c. Penelitian menggunakan fitur yang diekstraksi dari *time domain* atau domain waktu dari RR interval yang telah diambil, tanpa menggunakan fitur domain frekuensi atau non-linear.

- d. Arsitektur model klasifikasi yang digunakan dibatasi yaitu CNN, DNN, LSTM, dan BiLSTM yang tiap model dioptimalisasi dengan algoritma TLO, sehingga fitur yang digunakan lebih optimal.
- e. Evaluasi performa dari model klasifikasi dibatasi dengan metrik *accuracy*, *recall (sensitivity)*, *precision*, dan *specificity*.

1.6. Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian memuat prosedur dalam penelitian yang menjelaskan tiap langkah proses dalam pengolahan sinyal fECG sampai hasil evaluasi dari model klasifikasi *deep learning*.

1.6.1. Akuisisi Data

Tahapan akuisisi data adalah tahapan awal pada penelitian ini, dimana peneliti menggunakan dataset yang bersifat *open source* dari PhysioNet yaitu data fECG dari dataset NIFEA DB dan dataset NIFECG. Dataset ini menyediakan rekaman sinyal fetal EKG dengan dua kelas yaitu kelas normal dan kelas aritmia.

1.6.2. Pra-pengolahan Data

Tahapan pra-pengolahan dalam penelitian ini dilakukan untuk mengurangi noise dengan menggunakan metode DWT, kemudian pengambilan lokasi *R-peak* pada dataset NIFEA DB itu menggunakan pustaka HeartPy. Sedangkan untuk dataset NIFECG nilai *R-peak* diambil dari file anotasi yang tersedia langsung dalam datasetnya. Hasil *R-peak* inilah dihitung nilai RR-interval untuk dijadikan dasar fitur pada tahapan ekstraksi fitur.

1.6.3. Ekstraksi Fitur

Tahapan selanjutnya ialah ekstraksi fitur dari RR-interval dengan domain waktu menghasilkan fitur yang mempresentasikan karakteristik sinyal itu sendiri yang berguna untuk membedakan kondisi aritmia atau normal.

1.6.4. Pengembangan Model

Tahapan ini terdiri dari seleksi fitur dengan TLO untuk menemukan fitur optimal yang selanjutnya masuk ke model klasifikasi dengan *deep learning*. Kemudian setelah itu dilakukan pengujian dan validasi dari model yang telah

dibuat, menghasilkan metrik evaluasi akurasi, sensitivitas (*recall*), presisi, dan *specificity*.

1.6.5. Hasil dan Analisa

Hasil dari metrik evaluasi kemudian dibandingkan untuk memperoleh model mana yang memiliki performa paling efektif dalam melakukan klasifikasi aritmia pada dataset fECG dan kemampuan TLO dalam meningkatkan kinerja pada model.

1.6.6. Kesimpulan

Penarikan kesimpulan ini diambil dari hasil dari pengujian dan analisa performa pada tiap model. Penelitian ini ditutup dengan penarikan kesimpulan, dan saran untuk *future work*.

1.7. Sistematika Penulisan

Sistematikan penulisan menjelaskan keseluruhan bab yang ada pada pada Tugas Akhir ini, yang menguraikan mulai dari BAB I sampai dengan BAB 5 pada penelitian ini secara ringkas sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN

Bab I memuat pendahuluan memuat hal-hal dasar pada penulisan Tugas Akhir yang mencakup latar belakang penelitian, masalah yang diteliti, batasan masalah penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika dari penulisan penelitian ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab II memuat tentang penelitian sebelumnya yang terkait, landasan teori berupa materi mengenai fECG, RR interval, fitur time domain yang mampu mengekstraksi karakteristik sinyal dari data RR interval sinyal, model *deep learning* yang digunakan, algoritma TLO untuk optimalisasi pemilihan fitur, dan state-of-the-art pada kajian pustaka.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab II memuat penjelasan metodologi yang digunakan untuk penelitian, kerangka kerja, rancangan flowchart penelitian. Bab ini membahas lebih dalam

teknik dan metode yang diaplikasikan serta alur proses yang dilakukan selama penelitian berlangsung.

BAB IV HASIL DAN ANALISIS

Bab IV memuat hasil dari penelitian dan analisa yang dilakukan terhadap hasil dari penelitian, serta uraian pembahasan dari setiap hasil dan analisisnya.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab V memuat kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan pada Tugas Akhir, dan saran untuk penelitian selanjutnya yang memiliki keterkaitan topik/tema.

DAFTAR PUSTAKA

Daftar pustaka memuat semua referensi dari semua sumber informasi yang digunakan pada penelitian ini sebagai metode literatur

LAMPIRAN

Lampiran memuat informasi tambahan dan mendukung penelitian seperti formular perbaikan dan sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Ganguly *et al.*, “A Non-Invasive Approach for Fetal Arrhythmia Detection and Classification from ECG Signals,” *Proc. 2nd Int. Conf. VLSI Device, Circuit Syst. VLSI DCS 2020*, 2020, doi: 10.1109/VLSIDCS47293.2020.9179922.
- [2] K. Sharma and S. Masood, *Deep Learning-Based Non-invasive Fetal Cardiac Arrhythmia Detection*, vol. 778. Springer Singapore, 2021. doi: 10.1007/978-981-16-3067-5_38.
- [3] R. Kahankova *et al.*, “A Review of Signal Processing Techniques for Non-Invasive Fetal Electrocardiography,” *IEEE Rev. Biomed. Eng.*, vol. 13, pp. 51–73, 2020, doi: 10.1109/RBME.2019.2938061.
- [4] E. R. Vianti, J. S. Komputer, F. I. Komputer, and U. Sriwijaya, *KLASIFIKASI ARITMIA PADA SINYAL FETAL ECG BERBASIS DEEP LEARNING*. 2024.
- [5] 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.
- [6] J. Liu, H. Xu, J. Wang, X. Peng, and C. He, “Non-invasive diagnosis of fetal arrhythmia based on multi-domain feature and hierarchical extreme learning machine,” *Biomed. Signal Process. Control*, vol. 79, no. P2, p. 104191, 2023, doi: 10.1016/j.bspc.2022.104191.
- [7] E. B. Mazomenos, T. Chen, A. Acharyya, A. Bhattacharya, J. Rosengarten, and K. Maharatna, “A Time-Domain Morphology and Gradient based algorithm for ECG feature extraction,” *2012 IEEE Int. Conf. Ind. Technol. ICIT 2012, Proc.*, pp. 117–122, 2012, doi: 10.1109/ICIT.2012.6209924.
- [8] M. Suganthi, S. I. Joy, and P. Anandan, “Detection of fetal arrhythmia by adaptive single channel electrocardiogram extraction,” *Phys. Eng. Sci. Med.*, vol. 44, no. 3, pp. 683–692, 2021, doi: 10.1007/s13246-021-01016-z.
- [9] R. Martinek *et al.*, “Non-Invasive Fetal Electrocardiogram Extraction Based on Novel Hybrid Method for Intrapartum ST Segment Analysis,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 28608–28631, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3058733.
- [10] E. D. D. and S. M., “Weight optimized fixed and variable step-size adaptive filters for fetal ECG extraction,” *Biomed. Signal Process. Control*, vol. 98, no. July 2022, p. 106733, 2024, doi: 10.1016/j.bspc.2024.106733.
- [11] A. Rahman *et al.*, “Fetal ECG extraction from maternal ECG using deeply supervised LinkNet++ model,” *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 123, no. April, p. 106414, 2023, doi: 10.1016/j.engappai.2023.106414.
- [12] Niendy Alexandra Yosephine and Ratnadewi, “Penggunaan Artificial Neural Network pada Sinyal Elektrokardiogram untuk Mendeteksi Penyakit Jantung

- Aritmia Supraventrikular,” *Inf. (Jurnal Inform. dan Sist. Informasi)*, vol. 13, no. 1, pp. 14–23, 2021, doi: 10.37424/informasi.v13i1.69.
- [13] W. R. Bazudewa, I. P. Satwika, and I. G. P. K. Juliharta, “Klasifikasi Aritmia Dengan Heart Rate Variability Analisis Menggunakan Metode Backpropagation,” *JIRE (Jurnal Inform. Rekayasa Elektron.)*, vol. 3, no. 1, pp. 1–10, 2020.
 - [14] Q. Ayuni, R. Cahya Wihandika, and N. Yudistira, “Klasifikasi Aritmia Dari Hasil Elektrokardiogram Menggunakan Metode Support Vector Machine,” *Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 5, no. 6, pp. 2163–2170, 2021, [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
 - [15] R. Jaros, R. Martinek, R. Kahankova, and J. Koziorek, “Novel Hybrid Extraction Systems for Fetal Heart Rate Variability Monitoring Based on Non-Invasive Fetal Electrocardiogram,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 131758–131784, 2019. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2933717.
 - [16] A. F. Hussein, W. R. Mohammed, M. Musa Jaber, and O. Ibrahim Khalaf, “An Adaptive ECG Noise Removal Process Based on Empirical Mode Decomposition (EMD),” *Contrast Media Mol. Imaging*, vol. 2022, 2022, doi: 10.1155/2022/3346055.
 - [17] M. Zhang and G. Wei, “An integrated EMD adaptive threshold denoising method for reduction of noise in ECG,” *PLoS One*, vol. 15, no. 7 July, pp. 1–30, 2020, doi: 10.1371/journal.pone.0235330.
 - [18] J. H. Rasmussen, K. Rosenberger, and J. Langbein, “EasieRR: An open-source software for non-invasive heart rate variability assessment,” *Methods in Ecology and Evolution*, vol. 11, no. 6, pp. 773–782, 2020. doi: 10.1111/2041-210X.13393.
 - [19] O. Faust, M. Kareem, A. Ali, E. J. Ciaccio, and U. R. Acharya, “Automated arrhythmia detection based on rr intervals,” *Diagnostics*, vol. 11, no. 8, 2021. doi: 10.3390/diagnostics11081446.
 - [20] Y. Kim, J., Lee, S., & Lee, “Deep Learning-Based Arrhythmia Detection Using RRInterval Framed Electrocardiograms,” *Nature*, vol. 388, pp. 1–14, 2020.
 - [21] P. Kumar, A. K. Das, Prachita, and S. Halder, “Time-domain HRV Analysis of ECG Signal under Different Body Postures,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 167, no. 2019, pp. 1705–1710, 2020, doi: 10.1016/j.procs.2020.03.435.
 - [22] 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.
 - [23] Y. Li *et al.*, “Design and validation of novel maize grain cleaning loss detection system based on classification models of particle time-domain signals,” *Comput. Electron. Agric.*, vol. 220, no. March, p. 108908, 2024, doi: 10.1016/j.compag.2024.108908.

- [24] 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.
- [25] U. SUNARYA and L. V. UGI, “Analisis Fitur Domain Waktu ECG Heart Rate Variability Berdasarkan Gain Informasi,” *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 10, no. 2, p. 419, 2022, doi: 10.26760/elkomika.v10i2.419.
- [26] J. Sihotang, H. Tanudjaja, K. Indriati, and S.-N. Yu, “Analisis Sinyal ECG (Electrocardiogram) pada Aktivitas Duduk dan Berdiri dengan Metode HRV (Heart Rate Variability) pada Domain Waktu,” *J. Elektro*, vol. 12, no. 2, pp. 63–74, 2019.
- [27] R. Haberl, G. Jilge, R. Pulter, and G. Steinbeck, “Comparison of frequency and time domain analysis of the signal-averaged electrocardiogram in patients with ventricular tachycardia and coronary artery disease: Methodologic validation and clinical relevance,” *J. Am. Coll. Cardiol.*, vol. 12, no. 1, pp. 150–158, 1988, doi: 10.1016/0735-1097(88)90368-3.
- [28] H. Helmi and A. Forouzantabar, “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.
- [29] Cosmas Haryawan and Yosef Muria Kusuma Ardhana, “Analisa Perbandingan Teknik Oversampling Smote Pada Imbalanced Data,” *J. Inform. dan Rekayasa Elektron.*, vol. 6, no. 1, pp. 73–78, 2023, doi: 10.36595/jire.v6i1.834.
- [30] S. Fatika, N. Halim, and D. Aktuaria, “Analisis Perbandingan Klasifikasi dan Penerapan SMOTE Dalam Imbalanced Data pada Credit Card Default,” vol. 12, no. 2, 2023.
- [31] E. Sakho, Abdoulaye; Malherbe, Emmanuel; Scornet, “Do we need rebalancing strategies? A theoretical and empirical study around SMOTE and its variants.” 2024.
- [32] H. Singh Gill, B. Singh Khehra, A. Singh, and L. Kaur, “Teaching-learning-based optimization algorithm to minimize cross entropy for Selecting multilevel threshold values,” *Egypt. Informatics J.*, vol. 20, no. 1, pp. 11–25, 2019, doi: 10.1016/j.eij.2018.03.006.
- [33] S. Hosseini and M. Khorashadizade, “Efficient Feature Selection Method using Binary Teaching-learning-based Optimization Algorithm,” *J. AI Data Min.*, vol. 11, no. 1, pp. 29–37, 2023, doi: 10.22044/jadm.2023.12497.2400.
- [34] A. Taheri, K. RahimiZadeh, and R. V. Rao, *An efficient Balanced Teaching-Learning-Based optimization algorithm with Individual restarting strategy for solving global optimization problems*, vol. 576. Elsevier Inc., 2021. doi: 10.1016/j.ins.2021.06.064.
- [35] M. Hassaballah, Y. M. Wazery, I. E. Ibrahim, and A. Farag, “ECG Heartbeat

Classification Using Machine Learning and Metaheuristic Optimization for Smart Healthcare Systems,” *Bioengineering*, vol. 10, no. 4, pp. 1–16, 2023, doi: 10.3390/bioengineering10040429.

- [36] B. W. Putra, R. F. I. Isnanto, P. Sari, A. Saputra, M. R. Sanjaya, and A. N. S. Mukti, “Klasifikasi Arritmia pada Sinyal EKG menggunakan Deep Neural Network,” *Jupiter*, vol. 13, pp. 29–38, 2021.
- [37] M. Kolhar and A. M. Al Rajeh, “Deep learning hybrid model ECG classification using AlexNet and parallel dual branch fusion network model,” *Sci. Rep.*, vol. 14, no. 1, p. 26919, 2024, doi: 10.1038/s41598-024-78028-8.
- [38] Ratna Lestari Budiani Buana and Imroatul Hudati, “Review: Analisis Fitur Deteksi Aritmia dan Metode Deep Learning untuk Wearable Devices,” *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 11, no. 1, pp. 61–69, 2022, doi: 10.22146/jnteti.v11i1.3381.
- [39] X. Yu, “An ECG arrhythmia image classification system based on convolutional neural network.” p. 10, 2020.
- [40] S. Nurmaini *et al.*, “Electrocardiogram signal classification for automated delineation using bidirectional long short-term memory,” *Informatics Med. Unlocked*, vol. 22, 2021, doi: 10.1016/j.imu.2020.100507.
- [41] D. Turianto Nugrahadi, M. Reza Faisal, R. Herteno, K. Yudhaprawira Halim, and I. Budiman, “Gender Classification Based on Electrocardiogram Signals Using Long Short Term Memory and Bidirectional Long Short Term Memory,” *J. Ilm. Tek. Elektro Komput. dan Inform.*, vol. 9, no. 3, pp. 606–618, 2023, doi: 10.26555/jiteki.v9i3.26354.
- [42] M. S. Islam *et al.*, “HARDC: A novel ECG-based heartbeat classification method to detect arrhythmia using hierarchical attention based dual structured RNN with dilated CNN,” *Neural Networks*, vol. 162, pp. 271–287, 2023. doi: 10.1016/j.neunet.2023.03.004.
- [43] Y. Lin, H. Liu, L. Ruan, Z. Chen, and J. Xu, “Advancing non-invasive fetal health monitoring: A time–frequency approach to extracting fetal electrocardiogram signals,” *Biomed. Signal Process. Control*, vol. 95, no. PB, p. 106477, 2024, doi: 10.1016/j.bspc.2024.106477.
- [44] S. Nurmaini, A. Darmawahyuni, A. N. S. Mukti, M. N. Rachmatullah, F. Firdaus, and B. Tutuko, “Deep Learning-Based Stacked Denoising and Autoencoder for ECG Heartbeat Classification,” *Nature*, vol. 388, pp. 1–14, 2020.